



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	C-RAN Αλγόριθμος υλοποίησης RRH σε BBU
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Στεργίου Ζωή
Πατρώνυμο	Αστέριος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΣΠ12076
Επιβλέπων	Χρήστος Δουληγέρης, Καθηγητής

Ημερομηνία Παράδοσης **Ιούλιος 2017**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Χρήστος Δουληγέρης

Ψαράκης Μιχαήλ

Κοτζανικολάου
Παναγιώτης

Ευχαριστίες .

Θα ήθελα πρώτα από όλους να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ.Δουληγέρη για την αμέριστη κατανόηση και για την πολύτιμη βοήθεια.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους γονείς μου , που χωρίς την ηθική αλλά και υλική τους συνδρομή δεν θα μπορούσα να κάνω αυτό το μεταπτυχιακό όπως και πολλά άλλα πράγματα στη ζωή μου.

Ζωή Στεργίου

Αθήνα , Ιούλιος 2017.

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Κεφάλαιο 1	
Εισαγωγή	9
Κεφάλαιο 2	
Διεθνή δεδομένα κινητής τηλεφωνίας	11
2.1 Συσκευές διαμορφοποίησης.....	12
2.2 Η ανάπτυξη στην μέση κίνηση δεδομένων ανά συσκευή.....	13
2.3 Χρήση video από συσκευές κινητής.....	14
2.4 Μεταφορά κυκλοφορίας από κινητά δίκτυα προς Σταθερά δίκτυα.....	14
2.5 Ταχύτητες σύνδεσης δικτύου κινητής τηλεφωνίας.....	14
2.6 Επιπτώσεις σχετικά με την αύξηση 4G συνδέσεων.....	15
2.7 Το αντίκτυπο της κλιμακωτής τιμολόγησης.....	16
2.8 Απαιτήσεις από τους τελικούς χρήστες	16
2.9 The (Mobile) Internet of things.....	16
2.10 Συσκευές κινητής με δυνατότητα IPV-6.....	16
Κεφάλαιο 3	
3.1.1 Ιστορικό.....	17
3.1.2 Όραμα της C-RAN.....	19
3.2 Προκλήσεις του σημερινού RAN	
3.2.1 Μεγάλος αριθμός σταθμών βάσης που έχει σαν αποτέλεσμα την υψηλή κατανάλωση ενέργειας.....	20
3.2.2 Η ταχεία αύξηση CAPEX / OPEX του RAN.....	21
3.2.3 Ανάγκη δημιουργίας χωρητικότητας δικτύου με πτώση του ARPU.....	24
3.2.4 Δυναμικό φορτίο του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και χαμηλό ποσοστό χρήσης του σταθμού βάσης.....	25
3.3 Επισκόπηση λύσης C-RAN.....	26
3.3.1 Πλεονεκτήματα της C-RAN.....	26

Κεφάλαιο 4

4.1 Αρχιτεκτονική του C-RAN.....	28
4.2 Λειτουργίες της C-RAN	
4.2.1 Κεραίες πάνω σε δίκτυο οπτικών ινών χαμηλού κόστους	29
4.2.2 Εμπλουτισμένη συνεργατική μετάδοση.....	31
4.2.3 Baseband Pool διασύνδεση.....	31
4.2.3.1 Καταμεμημένη υπηρεσία δικτύου.....	32
4.2.4 Σταθμοί βάσης με τεχνολογία virtualization.....	33
4.2.5 Καταμερισμός πόρων / Ενοποίηση.....	35
4.2.6 Υποστήριξη Multi-RAT.....	36
4.2.7 Κοινή χρήση δικτύου.....	36
4.3 Εξαρτήματα C-RAN.....	37
4.3.1 Απομακρυσμένες τοποθεσίες κεραιών	37
4.3.2 Υποδομή Fronthaul Δικτύων Οπτικών Μεταφορών.....	38
4.3.2.2 Καθυστέρηση μεταφοράς και απαιτήσεις μετρήσεων.....	40
4.3.2.3 Αξιοπιστία Συστήματος.....	40
4.3.2.4 Απαιτήσεις Κόστους.....	41
4.3.2.5 Fronthaul λύσεις για δίκτυο C-RAN.....	41
4.3.3 Cloud πραγματικού χρόνου για κεντρική επεξεργασία.....	44
4.3.3.1 Ιεραρχική αρχιτεκτονική DU Cloud.....	44
4.3.3.2 Αρχιτεκτονική του GPP based, scalable, large scale C-RAN BBU pool.....	45
4.3.3.3 Εικονικοποίηση σταθμών βάσης που βασίζονται στην ανοιχτή πλατφόρμα.....	50
4.3.4 Αναπτυξιακή Πορεία.....	52
Κεφάλαιο 5	
Αλγόριθμος κατανομής BBU σε RRH για το C-RAN.....	54
5.1 Η περίπτωση του Επανα-Διαμορφώσιμου Backhaul σε C-RAN.....	55
5.1.1 Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική του Δικτύου	57

5.1.2 Υλοποίηση.....	58
5.2 CPU διαχωρισμού για εφαρμογές C-RAN.....	59
5.3 Αλγόριθμος υλοποίησης κατανομής RRH σε BBU για το CRAN.....	62
5.4 Αριθμητική Ανάλυση.....	68
5.4.1 Φορτίο Κυκλοφορίας	
5.4.1.1 Ελαφρύ φορτίο.....	70
5.4.1.2 Βαρύ φορτίο.....	73
5.4.2 Προφίλ Κυκλοφορίας.....	75
5.4.3 Ποιότητα όριου.....	75
5.4.3.1 Ελαφρύ φορτίο.....	78
5.4.3.2 Μεγάλο φορτίο.....	78
Κεφάλαιο 6	
Συμπεράσματα.....	80
Παράρτημα 1.....	81
Βιβλιογραφία.....	105
Γλωσσάριο.....	106

Abstract***RRH to BBU allocation Algorithm***

In recent years there has been a rapid increase in the load served by mobile telephony due to the widespread use of smartphones and tablets.

One of the most effective methods in cellular systems, to serve the ever increasing volume of data, is to reduce the radius of each cell. In this way, spatial reuse of wireless resources is achieved. However, the reduction in the beam of the hive leads to increased costs associated with their construction and management. Reducing the beam requires a larger number of base stations to produce uninterrupted coverage equivalent to that of a macrocell.

The load changes during the day. As a result, the spatial and temporal imbalance of the load, increases as the traffic of the network increases. Existing cellular systems use base stations to meet the data volume requirements at peak times. Thus, a large number of base stations or baseband resources are needed every time, resulting in increased costs.

To address the above-mentioned problems, an innovative Wireless Access Network (RAN) structure, the C-RAN Wireless Cloud has been proposed.

The C-RAN consists of a Base band Unit (BBU) and a Remote Radio Head (RRH) with naturally separated Radio Frequency (RF) functions. RRHs are installed at each of the local points along with the antenna equipment. BBUs, on the contrary, are concentrated in selected locations, such as network centers. Centralized signal processing significantly reduces the number of necessary equipment areas needed to cover the same area. Therefore, the power consumed for cooling the network equipment and other operational requirements is drastically reduced. Additionally, the logical interfaces between BBU and RRH change dynamically while allowing a BBU to serve more than one RRH. By distributing BBUs to RRH according to the data volume, we can achieve reduced costs due to the smaller number of required BBUs and more efficient use of restricted band resources.

In this diploma thesis, a flexible RRH assignment and matching model is proposed in BBU on a C-RAN network. Interconnections between BBU and RRH are reviewed at any time depending on the use of the resources of each BBU and the upcoming RRH load. The resources available to each BBU play a key role in implementing the proposed model, and they are best committed to serving the RRH requirements. When using a BBU exceeds a critical threshold, one or more of the RRHs served are assigned to other BBUs available. The purpose of the algorithm is to reduce active BBUs by grouping RRHs so as to save energy and resources in cloud computing.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση της κινητής τηλεφωνίας και ένα αυξημένο επίπεδο της υψηλής περιεκτικότητας σε εύρος ζώνης από τελικούς χρήστες end-to-end υποχρεώνει τους παρόχους δικτύου κινητής τηλεφωνίας, που υποστηρίζουν τόσο τις νέες υπηρεσίες, να αντιμετωπίζουν μια πρόκληση, καθώς δεν μπορούν να δέσει γραμμικά τα έσοδά τους με την αυξανόμενη ζήτηση εύρους ζώνης.

Σύμφωνα με μία έκθεση της έρευνας η οποία δημοσιεύεται από τη Cisco™ στις 6, Φεβρουαρίου 2013 τα παγκόσμια έσοδα εκμετάλλευσης θα ανέλθουν συνολικά \$ 1.000 δισεκατομμύρια το χρόνο από το 2016, αλλά αν οι τηλεφωνικές εταιρίες να αναλάβουν δράση, το κόστος θα αντισταθμίσει τα έσοδα αυτά κάπου μεταξύ 2014 και 2015 [3]. Σύμφωνα με τη Juniper, :

«Τα περιθώρια θα συμπιεστούν αρκετά δραματικά εάν δεν ληφθούν διορθωτικά μέτρα για την αντιμετώπιση των εξόδων κίνησης δεδομένων?

Εάν υπάρχει έλλειψη σχεδιασμού πριν από την ανάπτυξη ενός δικτύου, το αποτέλεσμα θα είναι αναποτελεσματικά δίκτυα ".

Για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων δαπανών που συνδέονται με την εκπλήρωση αυτών των απαιτήσεων, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας πρέπει να επανεξετάσουν τη συνολική δομή του κόστους των κινητών, την ανάπτυξή τους συμπεριλαμβανομένης της αρχιτεκτονικής του δικτύου, προκειμένου να μειώσουν δραματικά το κόστος OPEX.

Μια νέα κατανομημένη αρχιτεκτονική που ονομάζεται C-RAN προσφέρει ένα νέο πρότυπο σε σταθμούς βάσης.

Η αρχιτεκτονική αυτή έχει ως στόχο να μειώσει τον αριθμό των θέσεων των κυττάρων, αυξάνοντας παράλληλα την πυκνότητα εγκατάστασης σταθμού βάσης. Η αρχιτεκτονική C-RAN μειώνει τα λειτουργικά έξοδα και απλοποιεί τη διαδικασία εγκατάστασης. Συγκεντρώνοντας όλα τα ενεργά ηλεκτρονικά της από πολλαπλές τοποθεσίες των κυττάρων, σε μία θέση (γνωστός και ως το "Σταθμό Βάσης Hotel") οι δαπάνες για την ασφάλεια ελαχιστοποιούνται. Η RRH μπορεί να τοποθετηθεί εξωτερική ή εσωτερική, σε στύλους, σε πλευρές κτιρίων ή οπουδήποτε υπάρχει ενέργεια (ρεύμα) και μια ευζωνική σύνδεση καθιστώντας την εγκατάσταση λιγότερο δαπανηρή και πιο εύκολη.

Η RRH συνδέεται τυπικά με τη χρήση οπτικών ινών στην BBU, δημιουργώντας τοπολογία του δικτύου ασύρματης πρόσβασης cloud. Αυτή η τοπολογία εξοικονομεί κόστος, τόσο κατά την εγκατάσταση και αργότερα στη συνεχιζόμενη λειτουργία.

Το μοντέλο αυτό έχει δυνητικά οφέλη που περιλαμβάνουν μείωση του κόστους λειτουργίας του δικτύου λόγω λιγότερων επισκέψεων στο σημείο εγκατάστασης, εύκολες αναβαθμίσεις, κα χαμηλότερο κόστος ενοικίασης κτιρίου, και τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου με την κοινή επεξεργασία σήματος, τεχνικές που εκτείνονται σε πολλούς σταθμούς βάσης.

Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα να εκμεταλλεύονται οι διακυμάνσεις στο φορτίο επεξεργασίας σε σταθμούς βάσης, για να συγκεντρώσουν τους σταθμούς βάσης σε λιγότερους πόρους υπολογιστικής, επιτρέποντας έτσι στο χειριστή να είτε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας με την περιστροφή των υπολοίπων επεξεργαστών εκτός λειτουργίας είτε να μειωθεί το κόστος από τις προβλέψεις λιγότερων πόρων υπολογιστικής.

Η προσέγγισή μας έχει ως κίνητρο την C-RAN και προτείνει ένα σχέδιο μετάβασης από διανεμημένη σε κεντρική υποδομή για την επεξεργασία των κυτταρικών σημάτων κεντρικής ζώνης.

Υπάρχουν πιθανά οφέλη σε αυτήν την προσέγγιση, η οποία περιλαμβάνει την ενδεχόμενη μείωση των δαπανών ενέργειας με την αξιοποίηση των διακυμάνσεων του φορτίου και χρησιμοποιώντας μόνο όσους πόρους υπολογίζουμε πως απαιτείται για την επεξεργασία των σταθμών βάσης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι οργανωμένη ως εξής:

Κεφάλαιο 2 : Συζητείται η τρέχουσα κατάσταση και οι μελλοντικές τάσεις στην παγκόσμια κυκλοφορία δεδομένων κινητής τηλεφωνίας.

Κεφάλαιο 3 : Αναλύονται τα μειονεκτήματα της εφαρμογής RAN σήμερα και οι προκλήσεις που η C-RAN πρέπει να λύσει.

Κεφάλαιο 4 : Περιγράφεται η αρχιτεκτονική και οι λειτουργίες της C-RAN.

Κεφάλαιο 5 : Παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος για να γίνει η κατανομή από RRH σε BBU, με τη χρήση μίας C- RAN.

Τέλος, το Παράρτημα Α περιέχει τον πηγαίο κώδικα MATLAB ¹ που χρησιμοποιήθηκε για τις υλοποιήσεις που περιγράφονται στο κεφάλαιο 5

¹<http://www.mathworks.com/products/matlab/>

ΚΕΦΆΛΑΙΟ 2

ΔΙΕΘΝΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 2012-2017

Η χρήση δεδομένων κινητής τείνει να γίνει απαραίτητη για πολλούς χρήστες του δικτύου. Ήδη η χρήση υπηρεσιών κινητής φωνητικής τηλεφωνίας θεωρείται ανάγκη από τους περισσότερους, και γίνεται γρήγορα ένα σημαντικό μέρος της καθημερινότητας των καταναλωτών. Οι συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας αυξάνονται με ταχείς ρυθμούς και η ζήτηση εύρους ζώνης στα δεδομένα και βίντεο αυξάνεται. Η ζήτηση σε M2M (machine to machine) συνδέσεις συνεχίζει να αυξάνεται.

Τα επόμενα πέντε χρόνια αναμένεται να υπάρξει αμείωτη ζήτηση για χρήση βίντεο παρά τις αβέβαιες οικονομικές συνθήκες σε πολλά μέρη του κόσμου.

Η backhaul χωρητικότητα πρέπει να αυξηθεί έτσι ώστε όλες οι κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα, και υπηρεσίες βίντεο και να μπορούν να υποστηρίξουν αποτελεσματικά τις τάσεις της χρήσης των καταναλωτών ενώ οι δαπάνες της χρήσης της υποδομής πρέπει να κρατηθούν υπό έλεγχο.

Η ανάπτυξη δικτύων κινητής τηλεφωνίας επόμενης γενιάς απαιτεί μεγαλύτερη λειτουργικότητα. Με τον πολλαπλασιασμό των κινητών και φορητών συσκευών, υπάρχει άμεση ανάγκη για δίκτυα που θα επιτρέπουν σε όλες αυτές τις συσκευές να συνδεθούν με διαφάνεια με το δίκτυο υψηλής απόδοσης και την παροχή ενισχυμένης χρήσης βίντεο και πολυμέσων σε πραγματικό χρόνο.

Οι ασύρματες τεχνολογίες έχουν ως στόχο να παρέχουν εμπειρίες που στο παρελθόν ήταν διαθέσιμες μόνο μέσω των ενσύρματου δικτύων. Τα επόμενα χρόνια θα είναι κρίσιμα για τις επιχειρήσεις και τους φορείς παροχής υπηρεσιών καθώς θα πρέπει να σχεδιάσουν την μελλοντική ανάπτυξη δικτύου που θα δημιουργήσει μία προσαρμόσιμη πλατφόρμα πάνω στην οποία θα αναπτυχθεί το πλήθος των συσκευών και των εφαρμογών του κινητού με όλες τις μελλοντικές δυνατότητες.

Κινητών δεδομένων κίνησης θα φτάσει τα ακόλουθα ορόσημα μέσα στα επόμενα πέντε χρόνια

- Η μηνιαία παγκόσμια κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας θα ξεπεράσει το 10 exabytes το 2017.
- Ο αριθμός των κινητών συνδεδεμένων συσκευών θα ξεπεράσει τον παγκόσμιο πληθυσμό το 2013.
- Λόγω της αυξημένης χρήσης σε smartphones, οι συσκευές θα υπερβαίνουν το 50% χρήσης των δεδομένων κινητής τηλεφωνίας συγκριτικά με αυτή του 2013.

- Η μηνιαία κίνηση δεδομένων από tablet θα ξεπεράσουν 1 exabyte τον μήνα το 2017.

Στις ενότητες που ακολουθούν, έχουμε εντοπίσει 10 κύριες τάσεις πίσω από την ανάπτυξη της κινητών δεδομένων κίνησης.

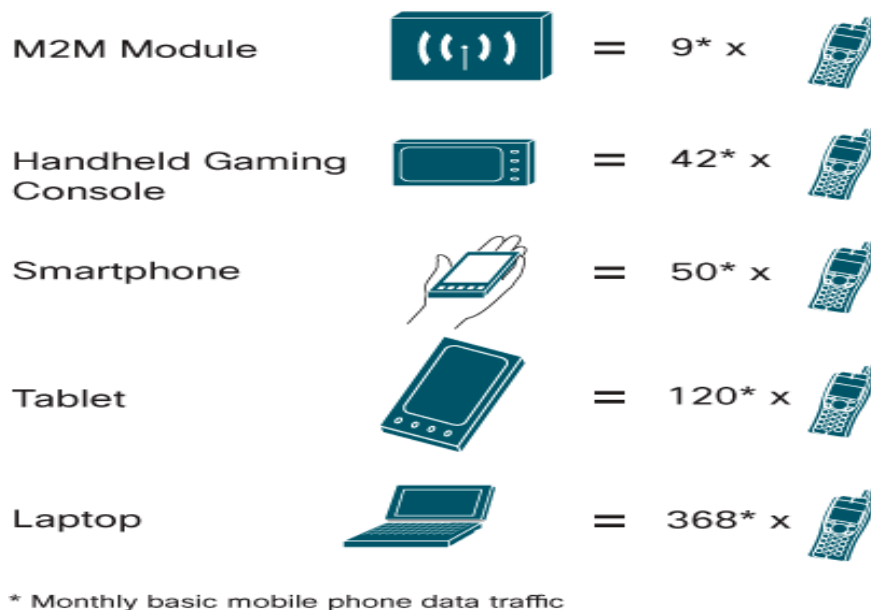
2.1 Συσκευές Διαφοροποίησης

Ο αυξανόμενος αριθμός των ασύρματων συσκευών που έχουν πρόσβαση σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας σε όλο τον κόσμο είναι ένας από τους βασικούς συντελεστές στην αύξηση της χρήσης δεδομένων κινητής. Κάθε χρόνο πολλές νέες συσκευές με διαφορετικούς παράγοντες σε μορφή και αυξημένες δυνατότητες εισάγονται στην αγορά.

Μέχρι το 2017 θα υπάρχουν 8,6 δισεκατομμύρια συσκευές κινητών τηλεφώνων έτοιμο και 1,7 δισεκατομμύρια M2M συνδέσεις (Π.χ., Global Positioning System (GPS) συστήματα σε αυτοκίνητα, συστήματα εντοπισμού περιουσιακών στοιχείων, ή ιατρικές εφαρμογές καθιστώντας τα αρχεία και την κατάσταση της υγείας ενός ασθενούς πιο άμεσα διαθέσιμα.).

Ο πολλαπλασιασμός των high-end συσκευών, tablets, φορητών υπολογιστών σε κινητά δίκτυα είναι ένας σημαντικός παράγοντας αύξησης της χρήσης δεδομένων κινητής, επειδή αυτές οι συσκευές προσφέρουν στον καταναλωτή το περιεχόμενο και τις εφαρμογές που δεν υποστηρίζονταν από τις προηγούμενες γενιές κινητών συσκευών.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1, ένα μοναδικό smartphone μπορεί να αυξήσει τόσο πολύ την κίνηση δεδομένων όσο 50 τηλέφωνα προηγούμενης γενιάς, ένα tablet αυξάνει τόσο πολύ την κίνηση δεδομένων όσο 120 συσκευές τηλεφώνων που έχουν απλά τα βασικά χαρακτηριστικά και ένας μονό φορητός υπολογιστής αυξάνει τόσο πολύ την κίνηση δεδομένων, όσο 368 τηλέφωνα προηγούμενης γενιάς.



Εικόνα 2.1 :Αναλογία χρήσης κίνησης δεδομένων κινητής σε απλές συσκευές και high-end.

2.2 Η ανάπτυξη στην μέση κίνηση δεδομένων ανά συσκευή

Παρακάτω φαίνονται μερικοί από τους κύριους υποστηρικτές της ανάπτυξης στην μέση χρήση του δικτύου κινητής. Όσο αυξάνεται η χρήση στις συνδέσεις δικτύων κινητής τηλεφωνίας, αυξάνεται και ο μέσος ρυθμός μετάδοσης περιεχομένου μέσω των κινητών τηλεφώνων.

- Η στροφή προς το video on demand θα επηρεάσει τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας όσο θα επηρεάσει σταθερά δίκτυα.
- Η χωρητικότητα του δικτύου κινητής τηλεφωνίας θα βελτιώνεται όσο πολλαπλασιάζεται ο αριθμός των χρηστών συσκευών νέας γενιάς. Οι πάροχοι έχουν περισσότερες πιθανότητες να προσφέρουν πακέτα κινητών ευρυζωνικών συνδέσεων σε τιμή και ταχύτητα ανάλογες με εκείνες των σταθερών ευρυζωνικών συνδέσεων.
- Η αύξηση του χρόνου επαφής ενός ατόμου με τις συσκευές κινητής με το δίκτυο θα οδηγήσει σε αύξηση του συνολικού χρόνου χρήσης ανά χρήστη. Ωστόσο, η αύξηση της χρήσης δεν οφείλεται μόνο σε αυτό αλλά και στη «μεταφορά της κυκλοφορίας» στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας από το δίκτυο σταθερής. Πολλές εφαρμογές συνεχίζουν να εισάγονται στην αγορά οι οποίες είναι προσαρμοσμένες για χρήση μόνο από συσκευές κινητής.

Device Type	2012	2017
Non-Smartphone	6.8	31
M2M Module	64	330
Smartphone	342	2,660
4G Smartphone	1,302	5,114
Tablet	820	5,387
Laptop	2,503	5,731

Πίνακας 2.1: Συνοπτική παρουσίαση του Per Device Ανάπτυξης Χρήση, MB ανά μήνα

2.3 Χρήση video από συσκευές κινητής

Επειδή τα περιεχόμενα βίντεο στην κινητή τηλεφωνία έχουν πολύ υψηλότερα ποσοστά χρήσης δεδομένων από όλους τους άλλους τύπους εφαρμογών που χρησιμοποιούνται στην κινητή, η χρήση βίντεο στην κινητή τηλεφωνία θα αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό την κίνηση μέχρι το 2017. Οι συσκευές κινητής έχουν μνήμη και περιορισμό στην ταχύτητα που ενδέχεται να τους αποτρέψει από το να ενεργούν ως συσκευές κατανάλωσης δεδομένων. Για αυτό το λόγο και όσες εφαρμογές υποστηρίζουν αναπαραγωγή βίντεο βασίζονται σε συστήματα cloud. Ενδεικτικές cloud εφαρμογές και υπηρεσίες που επιτρέπουν στους χρήστες κινητών να ξεπεραστούν οι περιορισμοί στη χωρητικότητα και την επεξεργασία της μνήμης των κινητών συσκευών, είναι τα παρακάτω: Netflix¹, YouTube², Pandora³, και Spotify⁴. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι εφαρμογές cloud θα αντιπροσωπεύουν το 84% της συνολικής κίνησης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας το 2017, σε σύγκριση με 74% στο τέλος του 2012.

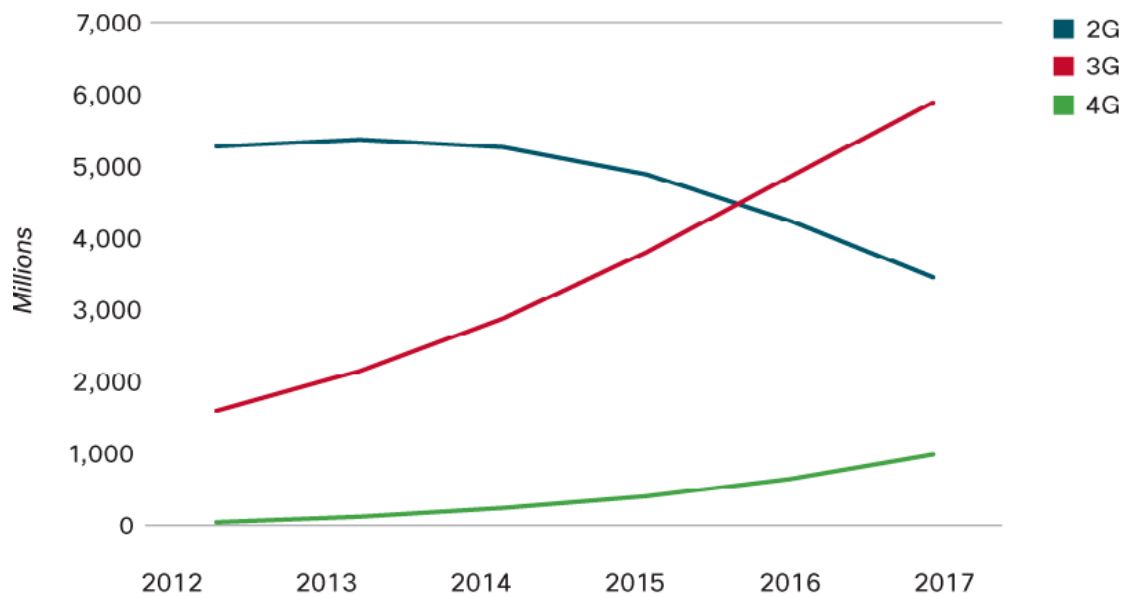
2.4 Μεταφορά κυκλοφορίας από κινητά δίκτυα προς Σταθερά δίκτυα

Μεγάλη δραστηριότητα δεδομένων κινητής τηλεφωνίας λαμβάνει χώρα μέσα στο σπίτι του χρήστη. Για τους χρήστες με δυνατότητα πρόσβασης από σταθερή ευρυζωνική και Wi-Fi σύνδεση στο σπίτι, οι οποίοι κάνουν χρήση του της σταθερής ευρυζωνικής σύνδεσής τους, ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό της κίνησης που χρησιμοποιείται από το κινητό και τις υπόλοιπες φορητές συσκευές θα αποσυμφορίσει το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με τη χρήση του σταθερό δίκτυο.

Ως ποσοστό της συνολικής κίνησης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας από όλες τις συσκευές κινητής τηλεφωνίας με σύνδεση με αυτή τη μέθοδο αναμένεται να αποσυμφορηθεί το δίκτυο της κινητής τηλεφωνίας από 33% το 2012 σε 46% το 2017. Χωρίς τη χρήση του σταθερού δικτύου, η παγκόσμια κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας θα αυξηθεί σε ένα σύνθετο ρυθμό ετήσιας ανάπτυξης 74% αντί του 66%.

2.5 Ταχύτητες σύνδεσης δικτύου κινητής τηλεφωνίας.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η μέση ταχύτητα σύνδεσης δικτύου κινητής τηλεφωνίας το 2012 ήταν 526 Kbps. Η μέση ταχύτητα θα αυξηθεί σε ένα ετήσιο ποσοστό αύξησης του 49%, και θα υπερβαίνει τα 3,9 Mbps το 2017. Οι ταχύτητες των Smartphone, σε γενικές γραμμές είναι 3G και άνω. Οι ταχύτητες αυτές θα τριπλασιαστούν και από το 2018 και μετά θα φτάσουν τα 6,5 Mbps. Ένας κρίσιμος παράγοντας στην προώθηση της αύξησης των ταχυτήτων στα δίκτυα κινητής κατά τη διάρκεια της περιόδου πρόβλεψης είναι η αύξηση του ποσοστού των 4G κινητών συσκευών. Ο αντίκτυπος της 4G συνδέσεις σε κίνηση είναι σημαντική, επειδή δημιουργείται ένα δυσανάλογο ποσοστό χρήσης των δεδομένων κινητής.



Εικόνα 2.2: Παγκόσμια κινητές συσκευές και συνδέσεις με 2G, 3G και 4G

2.6 Επιπτώσεις σχετικά με την αύξηση 4G συνδέσεων .

Η μεγάλη ανάπτυξη των εφαρμογών κινητής και πρωτοφανής αποδοχή της χρήσης των συνδέσεων κινητής τους τελικούς χρήστες, αφενός δημιουργούν την ανάγκη για βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης .Από την άλλη η διαχείριση και η δημιουργία εσόδων από τη χρήση του δικτύου τροφοδοτεί την ανάπτυξη ενός διεθνούς δικτύου 4G. Οι φορείς παροχής υπηρεσιών (τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι), ανά τον κόσμο, είναι απασχολημένοι με το να φτιάχνουν 4G δίκτυα έτσι ώστε να ανταποκριθούν στην αυξανόμενη ζήτηση των τελικών χρηστών για μεγαλύτερο εύρος ζώνης, μεγαλύτερη ασφάλεια και ταχύτερη συνδεσιμότητα εν κινήσει.

Ενώ, οι συσκευές με δυνατότητα 3G και οι συνδέσεις είχαν κερδίσει το υψηλότερο ποσοστό (50% όλων των συσκευών και τις συνδέσεις) μέχρι το 2015, το 10% του συνόλου των παγκόσμιων συσκευών και συνδέσεων θα είναι 4G μέχρι το 2017 (Σχήμα 2.2) .,

Η ανάπτυξη σε 4G με τα οφέλη της , κάποια από τα οποία είναι η αύξηση του εύρους ζώνης, η μικρότερη αφάνεια και η αύξηση της ασφάλειας θα βοηθήσει τα να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ κινητής και σταθερής απόδοσης του δικτύου , οδηγώντας σε ακόμη υψηλότερο αριθμό χρηστών που θα υιοθετήσουν τις κινητές τεχνολογίες καθιστώντας την πρόσβαση σε οποιοδήποτε περιεχόμενο , σε οποιαδήποτε συσκευή , από οποιαδήποτε μια πραγματικότητα.

2.7 Το αντίκτυπο της κλιμακωτής τιμολόγησης

Ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός παρόχων υπηρεσιών σε όλο τον κόσμο αλλάζουν τα πακέτα τους από προγράμματα με απεριόριστη δεδομένων σε πακέτα με κλιμακωτή χρήση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Υπάρχει μια μείωση του χάσματος κατανάλωσης εύρους ζώνης μεταξύ κλιμακωτής και απεριόριστης χρήσης σε ένα πρόγραμμα δεδομένων, που δείχνει τη γενική αύξηση της κατανάλωσης δεδομένων κινητής λόγω της αυξημένης κατανάλωσης των υπηρεσιών, όπως Pandora, YouTube, Facebook και Netflix.

2.8 Απαιτήσεις από τους τελικούς χρήστες

Οι τελικοί χρήστες γίνονται όλο και πιο έμπειροι ενώ ξέρουν πώς η χρήση τους που κάνουν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο για να προσαρμοστούν οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι στις ανάγκες των καταναλωτών για υψηλότερη απόδοση. Ένας τελικός χρήστης εξακολουθεί να χρησιμοποιεί τις εφαρμογές τις οποίες θέλει να χρησιμοποιήσει, όπου και όταν θέλουν αυτός. Σαν αποτέλεσμα οι πάροχοι υπηρεσιών ψάχνουν, με τελικό στόχο την εξυπηρέτηση των πελατών τους, τάσεις στη χρήση δεδομένων προκειμένου να αναπτύξουν το δίκτυο σε πραγματικό χρόνο και να υπάρξει βελτιστοποίηση των επιδόσεων. Οι πάροχοι οδηγούνται σε στρατηγικές επενδύσεις που θα αυξήσουν τις δυνατότητες του δικτύου μέσα σε ένα κερδοφόρο περιβάλλον υπηρεσιών.

2.9 The (Mobile) Internet of things

Η επικοινωνία μεταξύ των αντικειμένων, μηχανημάτων, ή αισθητήρων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη των συνδέσεων M2M. Αυτές είναι συνδέσεις συσκευών οι οποίες είτε προορίζονται για οικιακή χρήση είτε για εταιρική όπως είναι έξυπνοι μετρητές και επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, συντήρηση, αυτοματισμοί κτιρίων, αυτοκινητοβιομηχανία κτλ. Οι συνδέσεις M2M χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών. Οι συσκευές αυτές αλλάζουν και από 2G τεχνολογίες μεταφέρονται σε 3G & 4G.

2.10 Συσκευές κινητής με δυνατότητα IPV-6

Καθώς η βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών αναγνωρίζει όλο και περισσότερο τα οφέλη από την επεκτασιμότητα του Internet Protocol version 6 (IPv6) οδηγούμαστε στην παγκόσμια εξάλειψη του Internet Protocol version 4 (IPv4) ενώ η προσοχή στρέφεται προς την επιχειρησιακή διαχείριση και τα χαρακτηριστικά απόδοσης του IPv6 για να υποστηρίξει τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για την πανταχού παρούσα δυνατότητα σύνδεσης με πλούσιες υπηρεσίες περιεχομένου.

ΚΕΦΆΛΑΙΟ 3

Ο ΔΡΟΜΟΣ ΠΡΟΣ C-RAN

3.1 Εισαγωγή

3.1.1 Ιστορικό

Η αγορά κινητών ευρυζωνικών συνδέσεων αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς, φέρνοντας μαζί της την αύξηση των προσδοκιών των πελατών, πολλαπλασιασμό των smartphones, και την αύξηση στη χρήση των δεδομένων για φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας (τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι).

Η απλή οικοδόμηση ολοένα και πυκνότερων δικτύων κινητής χρησιμοποιώντας τους ήδη υπάρχοντες σταθμούς βάσης δεν είναι μια βιώσιμη λύση για τους φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας δεδομένου ότι το κόστος που σχετίζεται με τον εξοπλισμό, είναι υψηλό και είναι δύσκολο να μειωθεί. Επίσης η ενοικίαση υπάρχοντων σταθμών βάσης από άλλους παρόχους μπορεί να είναι κοστίζει ακριβά και να ενέχει μεγάλο ρίσκο.

Μια εταιρεία κινητής τηλεφωνίας θα μπορούσε αντί να κάνει τα παραπάνω να στραφεί προς τις τεχνολογικές προόδους στα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης (RANs), στην ανάπτυξη συστημάτων Πολλαπλής Εισόδου Πολλαπλής εξόδου [Multiple Input Multiple Output (MIMO)], στις παρεμβολές συγχρονισμού μεταξύ των κυτάρων [Inter Cell Interference Coordination (ICIC)] και σε συντονισμό πολλαπλών σημείων [Coordinated Multipoint (COMP)]. Αυτά μπορούν να βελτιώσουν μόνο την ικανότητα και την απόδοση σε κάποιο βαθμό: Εφόσον οι διαθέσιμες φασματικές επιλογές έχουν πλήρως βελτιστοποιηθεί και η αποτελεσματικότητα από τις νέες τεχνικές έχει αξιοποιηθεί πλήρως, η επόμενη ανάγκη είναι για δημιουργία μεγαλύτερου εύρους ζώνης.

Για να διατηρηθεί η κερδοφορία και ανάπτυξη, πρέπει οι φορείς εκμετάλλευσης κινητών επικοινωνιών να βρουν λύσεις για τη μείωση του κόστους, καθώς και την παροχή καλύτερων υπηρεσιών προς τους πελάτες. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη μια προσέγγιση στη σχεδίαση δικτύων, η οποία να χαλαρώνει τους περιορισμούς στη σχεδίαση των σημερινών προσεγγίσεων.

Από την άλλη πλευρά, η διάδοση της κινητής ευρυζωνικότητας παρουσιάζει μια μοναδική ευκαιρία για την ανάπτυξη μιας εξελιγμένης αρχιτεκτονικής δικτύου που θα επιτρέπει την ανάπτυξη νέων εφαρμογών και υπηρεσιών. Επίσης μέσω αυτής της εξελιγμένης αρχιτεκτονικής η χρήση του δικτύου θα γίνει ενεργειακά πιο αποδοτική. Το RAN είναι το πιο σημαντικό στοιχείο για τους παρόχους κινητών επικοινωνιών ώστε να παρέχουν δίκτυο υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων, υψηλής ποιότητας, και 24 x 7 υπηρεσίες στους χρήστες κινητής τηλεφωνίας.

Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική RAN έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Κάθε σταθμός βάσης συνδέεται μόνο με ένα σταθερό αριθμό των κεραιών που καλύπτουν μία μικρή περιοχή και εκπέμπει/λαμβάνει σήματα μετάδοσης/λήψης μόνο στην περιοχή κάλυψής του.

- Δεύτερον, η χωρητικότητα του συστήματος περιορίζεται από παρεμβολές, καθιστώντας δύσκολο να βελτιωθεί η χωρητικότητα του φάσματος.
- Και τελευταίο αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, οι σταθμοί βάσης είναι χτισμένοι σε ιδιόκτητες πλατφόρμες.

Αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν οδηγήσει σε πολλές προκλήσεις. Για παράδειγμα, ο μεγάλος αριθμός των σταθμών βάσης απαιτεί αντίστοιχη αρχική επένδυση, υποστήριξη και ενοικίαση του χώρου που βρίσκεται ο σταθμός και την υποστήριξη της διαχείρισης. Η ανοικοδόμηση σταθμών βάσης σε περισσότερες περιοχές σημαίνει αύξηση CAPEX (δαπάνες κεφαλαίου) και OPEX (λειτουργικές δαπάνες). Συνήθως, το ποσοστό χρήσης των σταθμών βάσης είναι χαμηλό επειδή το μέσο φορτίο του δικτύου είναι συνήθως πολύ χαμηλότερη από ότι το φορτίο σε ώρες αιχμής. Η επεξεργαστική ισχύς του σταθμού βάσης δεν μπορεί να είναι από μοιραζόμενη με κάποιον άλλο σταθμό βάσης. Οι απομονωμένοι σταθμοί έχουν αποδειχθεί δαπανηροί και είναι δύσκολο μέσω αυτών να γίνει βελτίωση του φάσματος χωρητικότητας. Τέλος, μία ιδιόκτητη πλατφόρμα σημαίνει πως οι φορείς εκμετάλλευσης κινητών επικοινωνιών πρέπει να διαχειριστούν πολλαπλές πλατφόρμες και αν οι πάροχοι υπηρεσιών θέλουν να αγοράσουν συστήματα από πολλαπλούς προμηθευτές οι φορείς θα πρέπει να έχουν πιο πολύπλοκο και δαπανηρό σχέδιο για την επέκταση του δικτύου και την αναβάθμισή του.

Για την κάλυψη των ταχέως αυξανόμενων υπηρεσιών δεδομένων, οι φορείς εκμετάλλευσης κινητών επικοινωνιών πρέπει να αναβαθμίσουν το δίκτυό τους συχνά και λειτουργούν με πολλαπλά πρότυπα δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των : Global System for Mobile Communications (GSM), Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)/Time Division Synchronous Code Division Multiple Access (TD-SCDMA) και LTE.

Ωστόσο, η ιδιόκτητη πλατφόρμα σημαίνει ότι οι φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας δεν έχουν την ευελιξία για αναβάθμιση του δικτύου, ή τη δυνατότητα να προσθέσουν υπηρεσίες πέρα από απλές αναβαθμίσεις. Εν ολίγοις, τα παραδοσιακά RAN θα γίνει πάρα πολύ ακριβά για φορείς εκμετάλλευσης κινητών επικοινωνιών έτσι ώστε το παγκόσμιο δίκτυο κινητής να διατηρήσει την ανταγωνιστικότητά του στο μέλλον. Η τεχνική αυτή στερείται της αποτελεσματικότητας να υποστηρίζει εξελιγμένα συστήματα κεντρικής διαχείρισης των παρεμβολών που απαιτούνται από τα μελλοντικά ετερογενή δίκτυα, επίσης δεν υπάρχει η ευελιξία μετατόπισης των υπηρεσιών στο δίκτυο αιχμής για καινοτόμες εφαρμογές και η ικανότητα να δημιουργηθούν νέα έσοδα από νέες υπηρεσίες. Οι φορείς εκμετάλλευσης κινητών επικοινωνιών είναι αντιμέτωποι με το πρόκληση της αρχιτεκτονικής radio δικτύου που επιτρέπει όλα τα παραπάνω.

3.1.2 Όραμα της C-RAN

Το μελλοντικό RAN θα πρέπει να παρέχει κινητή ευρυζωνική πρόσβαση στο Internet για πελάτες που συνδέονται ασύρματα με χαμηλά bit, υψηλής φασματικής και ενεργειακής απόδοσης.

Το RAN πρέπει να πληρεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Μειωμένο κόστος (CAPEX και OPEX).
- Χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.
- Υψηλή φασματική απόδοση.
- Με βάση την ανοιχτή πλατφόρμα, να υποστηρίζονται πολλαπλά πρότυπα, και να υπάρχει ομαλή εξέλιξη.
- Να παρέχει μια πλατφόρμα για πρόσθετες υπηρεσίες που παράγουν έσοδα.

Η C-RAN είναι μια πολλά υποσχόμενη εφαρμογή RAN και η λύση ανάπτυξης για την αντιμετώπιση των προκλήσεων στην τρέχουσα εγκατάσταση RAN. Το όνομά της προέρχεται από τους τέσσερις της χαρακτήρες:

i. Συγκεντρωτική επεξεργασία: Η συγκεντρωτική επεξεργασία σήματος μειώνει σημαντικά τον αριθμό των σταθμών βάσης / εξοπλισμών που απαιτείται για την κάλυψη των ίδιων περιοχών.

ii. Συνεργατική εκπομπή: Συνεταιριστική εκπομπή με κατακεντρωμένη κεραία εξοπλισμένη με RRH έτσι ώστε να παρέχεται υψηλότερη απόδοση φάσματος.

iii. Cloud computing σε πραγματικό χρόνο: Οι real time υποδομές cloud βασίζονται στην ανοιχτή πλατφόρμα και στην εικονικοποίηση των σταθμών βάσης δίνοντας τη δυνατότητα συνυπολογισμού της μεταποίησης και της δυναμικής κατανομής, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και την αύξηση του ποσοστού χρήσης της υποδομής.

iv. Καθαρό σύστημα.

Η C-RAN δεν είναι η μόνη λύση ανάπτυξης RAN που θα αντικαταστήσει όλους τους σημερινούς macro cell, micro cell και pico cell σταθμούς βάσης, τα συστήματα κάλυψης που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους, και τους αναμεταδότες. Διαφορετικές λύσεις ανάπτυξης έχουν τα αντίστοιχα πλεονεκτήματά τους και τα μειονεκτήματά και είναι κατάλληλα για συγκεκριμένα σενάρια ανάπτυξης.

Το C-RAN στοχεύει να εφαρμόζεται σε πιο τυπικά σενάρια ανάπτυξης RAN, δηλαδή στους σημερινούς macro cell, micro cell και pico cell σταθμούς βάσης και συστήματα κάλυψης που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους. Επιπλέον, άλλες εκδοχές / αναπτύξεις RAN μπορούν να χρησιμεύσουν ως συμπληρωματικές της C-RAN για ορισμένες υποθέσεις.

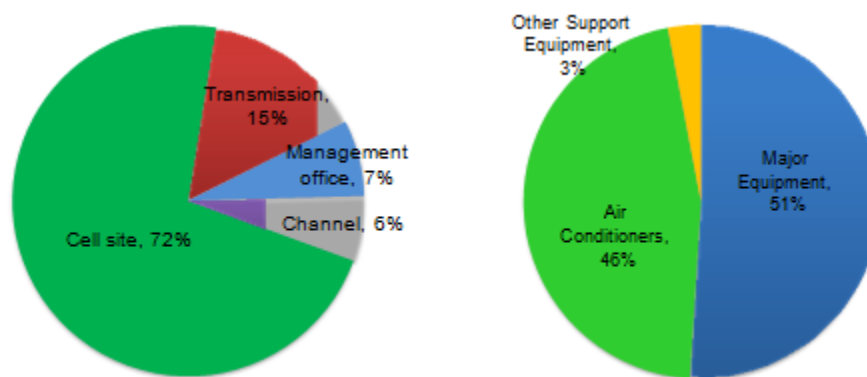
3.2 Προκλήσεις του σημερινού RAN

3.2.1 Μεγάλος αριθμός σταθμών βάσης που έχει σαν αποτέλεσμα την υψηλή κατανάλωση ενέργειας.

Εφόσον οι φορείς εισάγουν συνεχώς αυξάνουν τον αριθμό σταθμών βάσης για να προσφέρουν ευρυζωνικές ασύρματες υπηρεσίες, η κατανάλωση ενέργειας παίρνει μια δραματική αυξητική πορεία. Όσο υψηλότερη είναι η κατανάλωση ενέργειας αυτό μεταφράζεται άμεσα ως υψηλότερο OPEX με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες είναι πλέον ολοένα και απaráδεκτες.

Το παρακάτω σχήμα 3.1 δείχνει τις συνιστώσες της κατανάλωσης ισχύος του δικτύου κινητής τηλεφωνίας στην Κίνα

Δείχνει πως η πλειοψηφία της κατανάλωσης ενέργειας είναι από σταθμό βάσης στο radio δίκτυο πρόσβασης. Μέσα στο σταθμό βάσης, μόνο το μισό της ενέργειας χρησιμοποιείται από το RAN εξοπλισμός, ενώ το άλλο μισό καταναλώνεται από air condition και από άλλο υποστηρικτικό εξοπλισμό.



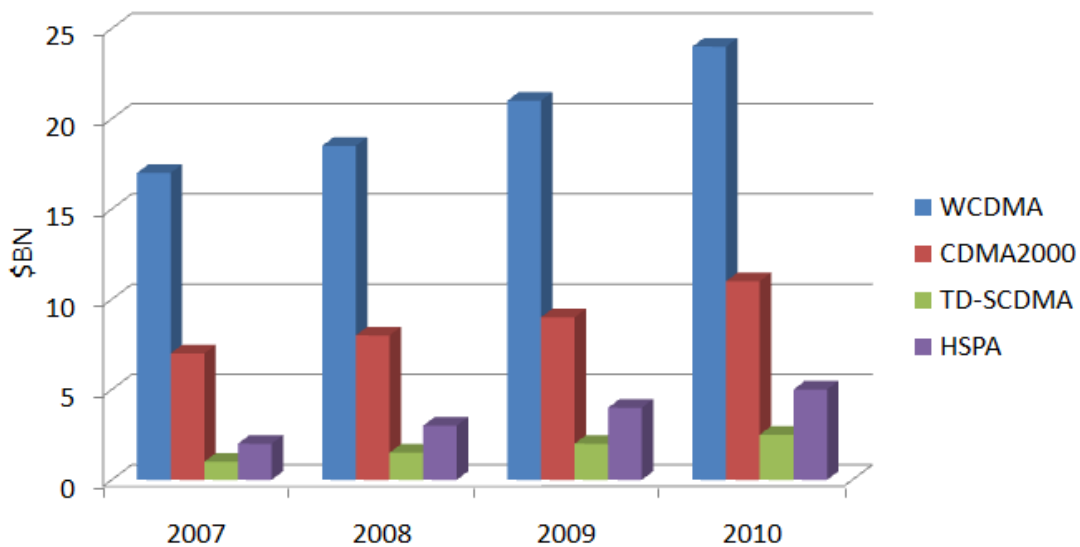
Εικόνα 3.1: Κατανάλωση ενέργειας των BS

Προφανώς, ο καλύτερος τρόπος για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι η μείωση του αριθμού των σταθμών βάσης. Ωστόσο, για τα παραδοσιακά RAN, αυτό θα οδηγήσει σε χειρότερη κάλυψη δικτύου και μικρότερη χωρητικότητα. Ως εκ τούτου, οι επιχειρήσεις αναζητούν νέες τεχνολογίες για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς να μειώνεται η κάλυψη και η ικανότητα του δικτύου. Σήμερα,

υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες "τροποποίησης" που βοηθούν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των σταθμών βάσης, όπως οι λύσεις λογισμικού οι οποίες εξοικονομούν ενέργεια μέσα από την απενεργοποίηση επιλεγμένων φορέων στο ρελαντί ώρες χαμηλής κίνησης, όπως τα μεσάνυχτα. Επίσης υπάρχουν οι πράσινες ενεργειακές λύσεις που προσφέρουν την ηλιακή, την αιολική και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως τροφοδοσία για το σταθμό βάσης σύμφωνα με τις τοπικές φυσικές συνθήκες.

Επίσης η τεχνολογία κλιματισμού εξοικονόμησης ενέργειας, που σε συνδυασμό με το τοπικό κλίμα και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, μειώνουν την ενεργειακή κατανάλωση του κλιματισμού κ.λπ. Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες είναι συμπληρωματικές μέθοδοι και δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν τα θεμελιώδη προβλήματα της κατανάλωσης ενέργειας με την αύξηση του αριθμού των σταθμών βάσης.

Σε μακροπρόθεσμη βάση, οι φορείς εκμετάλλευσης κινητών επικοινωνιών πρέπει να προγραμματίσουν κάποιες αρχιτεκτονικές λύσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του δικτύου. Μια αλλαγή στην υποδομή είναι το κλειδί για την επίλυση του προβλήματος της κατανάλωσης ενέργειας από το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης. Η συγκέντρωση των σταθμών βάσης θα μειώσει τον χώρο που χρειάζεται ώστε να λειτουργεί ο ίδιος αριθμός σταθμών, επίσης θα μειωθούν οι ανάγκες για χρήση κλιματιστικών (A / C), και θα χρησιμοποιείται ο ίδιος υποστηρικτικός εξοπλισμός για παραπάνω από έναν σταθμούς βάσης με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους.



Εικόνα 3.2: Αύξηση CAPEX του 3G δικτύου κατασκευής και Εξέλιξη

3.2.2 Η ταχεία αύξηση CAPEX / OPEX του RAN

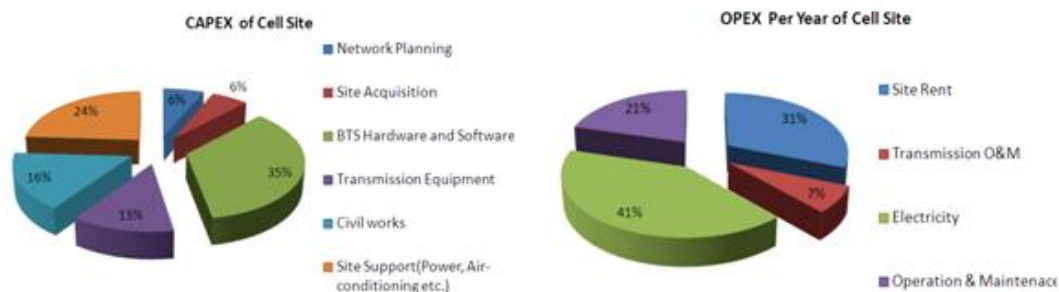
Τα τελευταία χρόνια, η κατανάλωση δεδομένων κινητής γνώρισε μια ανάπτυξη ρεκόρ μεταξύ των φορέων σε όλο τον κόσμο, εφόσον πλέον οι συνδρομητές χρησιμοποιούν smartphones και άλλες κινητές συσκευές, όπως tablets. Για να ικανοποιηθεί αυτή η αύξηση της χρήσης των

καταναλωτών, οι φορείς εκμετάλλευσης κινητών επικοινωνιών πρέπει να αυξήσουν σημαντικά τη χωρητικότητα του δικτύου τους για την παροχή κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών σε μεγαλύτερες μάζες συνδρομητών. Ωστόσο, σε μια ανταγωνιστική αγορά, με υψηλά επίπεδα κορεσμού, με ραγδαίες τεχνολογικές αλλαγές και με μείωση των εσόδων από υπηρεσίες φωνής, οι φορείς εκμετάλλευσης αμφισβητούνται, με την ανάπτυξη των παραδοσιακών σταθμών βάσης καθώς ενώ το κόστος είναι υψηλό, η απόδοση είναι δεν είναι αρκετά υψηλή.

Οι φορείς γίνονται όλο και πιο προσεκτικοί σχετικά με το TCO(Total Cost Ownership) του δικτύου τους , προκειμένου να παραμείνουν κερδοφόρες και ανταγωνιστικές ως επιχειρήσεις.

Το TCO συμπεριλαμβάνει τα CAPEX και τα OPEX τα αποτελέσματα από την κατασκευή και τη λειτουργία του δικτύου . Το CAPEX συνδέεται κυρίως με την υποδομή του δικτύου και την κατασκευή του , ενώ το OPEX συνδέεται κυρίως με τη λειτουργία του δικτύου και τη διαχείριση. Σε γενικές γραμμές, έως και το 80% του CAPEX μιας εταιρείας κινητής τηλεφωνίας δαπανώνται για τη RAN. Αυτό σημαίνει ότι το μεγαλύτερο μέρος της CAPEX σχετίζεται με δημιουργία κυττάρων για το RAN. Το ιστορικό σε δαπάνες CAPEX του 2007-2012 δάσος φαίνεται στο σχήμα 3.2 .

Η CAPEX δαπανάται κυρίως κατά το στάδιο της κατασκευής χώρου κυψελών.Οι δαπάνες αγοράς περιλαμβάνουν τις αγορές των σταθμών βάσης και συμπληρωματικών εξοπλισμών, όπως είναι οι μηχανισμοί παροχής ενέργειας , τα κλιματιστικά κτλ.

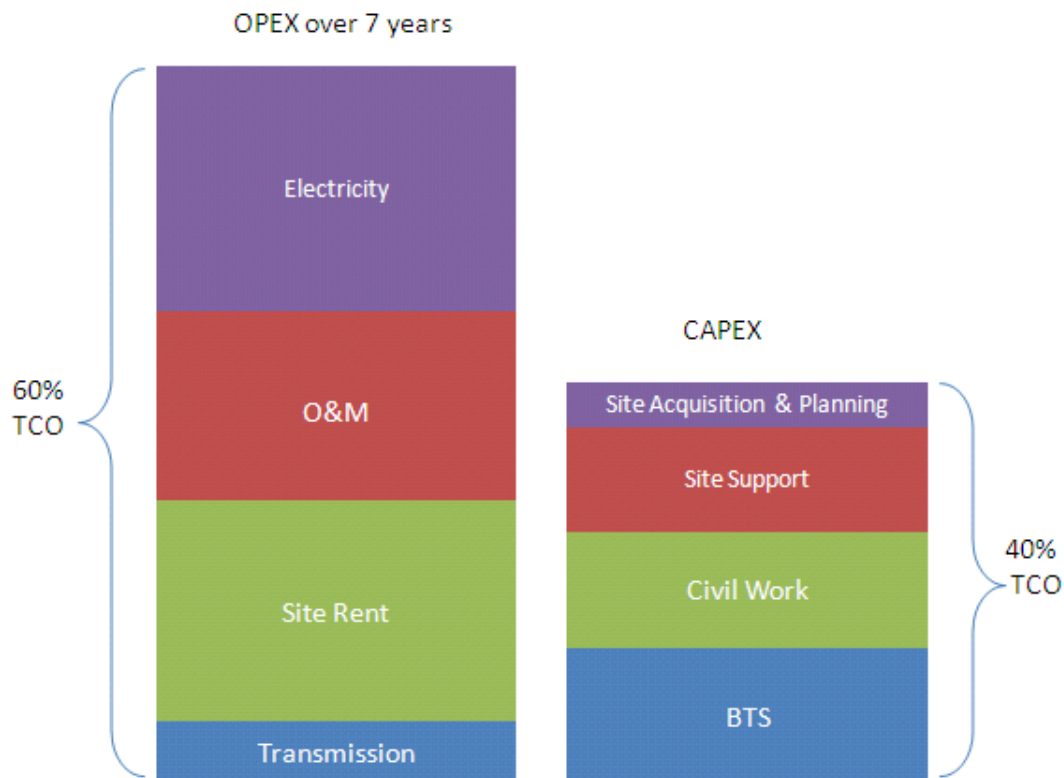


Εικόνα 3.3: CAPEX και OPEX Ανάλυση κεραιών

Όπως φαίνεται είναι το σχήμα 3.3, είναι αξιοσημείωτο ότι το κόστος σημαντικών ασύρματων εξοπλισμών αποτελεί μόνο το 35% του CAPEX, ενώ το κόστος της απόκτησης χώρου, τα έργα του πολιτικού μηχανικού, και η εγκατάσταση του εξοπλισμού είναι περισσότερο από το 50% του συνολικού κόστους. Ουσιαστικά, αυτό σημαίνει ότι περισσότερα από τα μισά έξοδα CAPEX δεν δαπανώνται για την παραγωγική ασύρματη λειτουργικότητα. Ως εκ τούτου, η εύρεση τρόπων για τη μείωση του κόστους του συμπληρωματικού εξοπλισμού και της δαπάνης για την εγκατάσταση χώρου και την ανάπτυξη είναι σημαντική για τη μείωση του CAPEX της κινητής τηλεφωνίας.

Η OPEX στη λειτουργία του δικτύου και στο στάδιο συντήρησης παίζουν σημαντικό ρόλο στο TCO. Στις επιχειρησιακές δαπάνες συμπεριλαμβάνονται η δαπάνη της ενοικίασης χώρου, η

ενοικίαση του δικτύου μετάδοσης (transmission network) όπως επίσης η λειτουργία και συντήρηση του μηχανισμού παροχής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και οι λογαριασμοί από τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη πως η περίοδος απόσβεσης του κόστους κατασκευής ενός σταθμού βάσης είναι 7 έτη , όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4, μία ανάλυση του TCO δείχνει ότι το OPEX αντιπροσωπεύει πάνω από το 60% του TCO, ενώ το CAPEX αντιπροσωπεύει μόνο περίπου το 40% του TCO .



Εικόνα 3.4: Ανάλυση TCO για την κατασκευή σταθμών βάσης

Το OPEX αποτελεί βασικό παράγοντα που πρέπει να ληφθεί υπόψη από τους υπευθύνους για την οικοδόμηση του μελλοντικού RAN.Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για τη μείωση TCO είναι να μειωθεί ο αριθμός των τοποθεσιών που υπάρχουν σταθμοί βάσης.

Αυτό θα μειώσει το κόστος για την κατασκευή των εξοπλισμών και θα ελαχιστοποιήσει τις δαπάνες για την εγκατάσταση και ενοικίασή τους.Λιγότεροι σταθμοί βάσης σημαίνει αντίστοιχη μείωση κόστους του συμπληρωματικού εξοπλισμού. Αυτό μπορεί να μειώσει σημαντικά τα CAPEX και OPEX, αλλά το αποτέλεσμα θα είναι φτωχότερη κάλυψη δικτύου και χειρότερη εξυπηρέτηση των χρηστών. Ως εκ τούτου, πρέπει να βρεθεί ένας πιο αποδοτικός τρόπος, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το μη παραγωγικό τμήμα του TCO, ενώ ταυτόχρονα θα διατηρηθεί η καλή κάλυψη του δικτύου.

Οι σταθμοί βάσης καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος των επενδύσεων σε υποδομές σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Ως εκ τούτου οι σταθμοί βάσης πολλαπλών λειτουργιών αναμένονται σαν ένας πιο αποδοτικός τρόπος ώστε να μειωθεί το κόστος κατασκευής τους για τους παρόχους.

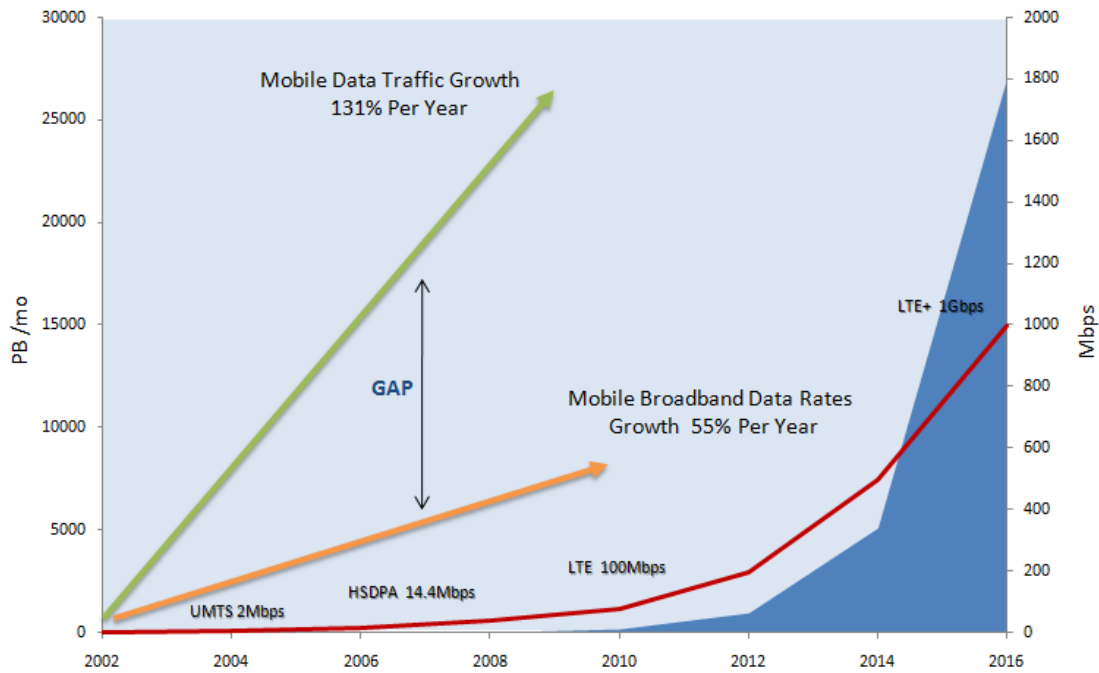
Cellular Technologies	Vodafor	China Mobile	France Telecom	T-Mobile	Verizon SK	Telecom	Telstra	China Uni-com
TD-SCDMA		✓						
WCDMA	✓		✓	✓		✓	✓	✓
CDMA One & 2000 & EVDO					✓	✓		
GSM GPRS EDGE	✓	✓	✓	✓			✓	✓
LTE	✓	✓			✓	✓		

Πίνακας 3.1 : Πίνακας παροχών πολλών τηλεπικοινωνιακών παρόχων

3.2.3 Ανάγκη δημιουργίας χωρητικότητας δικτύου με πτώση του ARPU (Average revenue per unit)

Ο ρυθμός δεδομένων του ευρυζωνικού δικτύου κινητής αυξάνεται σημαντικά με την εισαγωγή των νέων προτύπων διασύνδεσης αέρα (3G , 4G κτλ)

Αυτό με τη σειρά του προτρέπει τους τελικούς χρήστες κινητών να έχουν ταχύτερη κατανάλωση δεδομένων. Μερικές προβλέψεις που αναφέρονται στον αριθμό των ατόμων που έχουν πρόσβαση σε κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες αναφέρουν πως ο αριθμός αυτός θα τριπλασιαστεί στα επόμενα χρόνια, ιδιαιτέρως μετά την ανάπτυξη του LTE(Long Term Evolution).



Εικόνα 3.5: Ρυθμός αύξησης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας

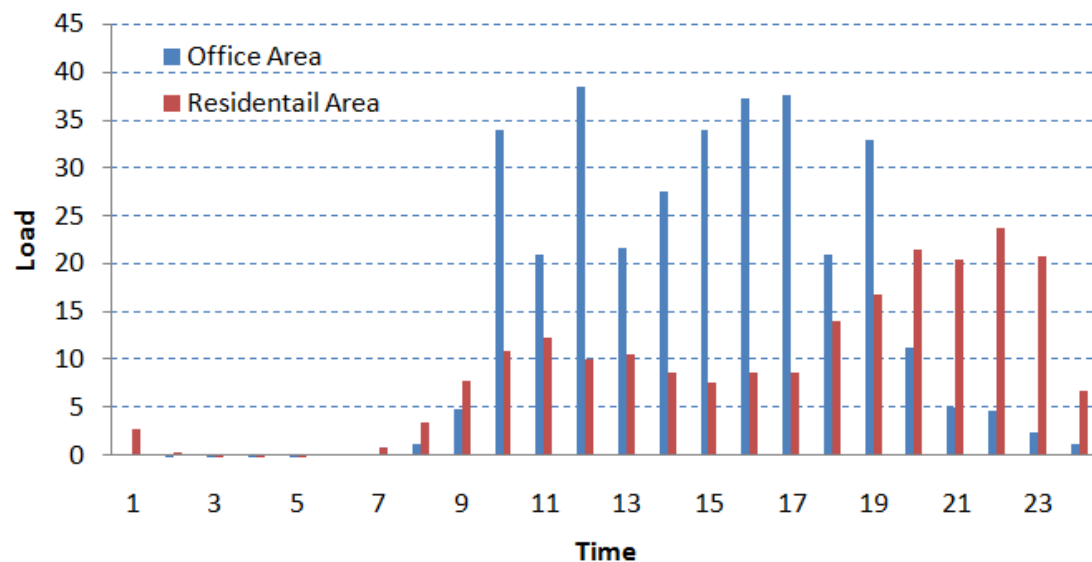
Η νέα αυτή τάση θα γίνει μια σοβαρή πρόκληση για το μελλοντικό RAN.

Σαφώς, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.5, υπάρχει ένα μεγάλο χάσμα μεταξύ της CAGR (Compound Annual Growth Rate) των νέων προτύπων διασύνδεσης αέρα και του μέσου ετήσιου ρυθμού αύξησης των αναγκών των συνδρομητών. Για να καλυφθεί αυτό χάσμα, πρέπει να αναπτυχθούν νέες τεχνολογίες υποδομής για την περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης του LTE.

3.2.4 Δυναμικό φορτίο του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και χαμηλό ποσοστό χρήσης του σταθμού βάσης.

Ένα χαρακτηριστικό του δικτύου κινητής τηλεφωνίας είναι ότι οι συνδρομητές συχνά μετακινούνται από το ένα μέρος στο άλλο. Από δεδομένα που βασίζονται σε πραγματικό δίκτυο λειτουργίας, παρατηρήσαμε ότι η κίνηση των συνδρομητών δείχνει ένα πολύ ισχυρό πρότυπο συσχετισμού της γεωμετρίας και του χρόνου. Περίπου τις ώρες που συνήθως οι άνθρωποι ξεκινούν να εργάζονται ένας μεγάλος αριθμός συνδρομητών μετακινηθούν από κατοικημένες περιοχές σε κεντρικές περιοχές με γραφεία για την εργασία τους και όταν η ώρα εργασίας τελειώνει, οι συνδρομητές επιστρέφουν στα σπίτια τους. Κατά συνέπεια, οι κινήσεις του φορτίου του δικτύου στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας έχουν ένα παρόμοιο μοτίβο που ονομάζεται «παλιρροιακό αποτέλεσμα». Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6, κατά τη διάρκεια των ωρών εργασίας, οι σταθμοί βάσης που βρίσκονται κοντά σε περιοχές με εταιρείες / γραφεία είναι οι πιο «απασχολημένοι». Σε οι ώρες μη-εργασίας, οι σταθμοί βάσης σε κατοικημένες περιοχές ή περιοχές ψυχαγωγίας είναι πιο απασχολημένοι. Η ικανότητα επεξεργασίας ενός σταθμού βάσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο από τους ενεργούς χρήστες σε περιοχή κελιών της, προκαλώντας τον κάποιους σταθμούς να δουλεύουν χαλαρά και άλλους να είναι

υπερφορτωμένοι.. Όταν οι συνδρομητές κινούνται σε άλλους τομείς, ο σταθμός βάσης μένει μόνο στο ρελαντί με ένα μεγάλο ποσοστό επεξεργασίας ισχύος του μένει ανεκμετάλλευτο. Διότι οι φορείς εκμετάλλευσης πρέπει να παρέχουν 7 × 24 κάλυψη, οι σταθμοί βάσης ακόμη και όταν είναι αδρανείς καταναλώνουν σχεδόν το ίδιο επίπεδο ενέργειας, όπως κάνουν σε ώρες που είναι πού φορτωμένοι.



Εικόνα 3.6: Φόρτο δικτύου κινητής κατά τη διάρκεια της μέρας

3.3 Επισκόπηση λύσης C-RAN

Η βασική ιδέα πίσω από τη C-RAN είναι να αλλάξει την παραδοσιακή αρχιτεκτονική RAN έτσι ώστε να μπορεί να επωφεληθεί από τις τεχνολογίες όπως cloud computing, Software Defined Network (SDN) προσεγγίσεις, και προηγμένες τεχνικές απομακρυσμένων κεραιών. Η C-RAN είναι μια αρχιτεκτονική RAN που δεν δεσμεύεται σε απλή τεχνολογία αέρα RAN. Στην ουσία, οι επίγειοι σταθμοί βάσης αντικαθίστανται με κεντρικούς σταθμούς βάσης οι οποίοι μπορούν να διαχειρίζονται και απομακρυσμένα με τη χρήση τηλεχειριστηρίου. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να υποστηρίξει μέχρι εκατό απομακρυσμένες μονάδες ανά κεραιά.

Αυτό επιτυγχάνεται με τη συγκέντρωση της RAN λειτουργίας σε ένα κοινόχρηστο «σύννεφο» το οποίο στη συνέχεια συνδέεται μέσω οπτικής ίνας σε προηγμένα RRH(remote radio head) που βρίσκονται σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες προκειμένου να παρέχουν πλήρη κάλυψη μιας περιοχής.

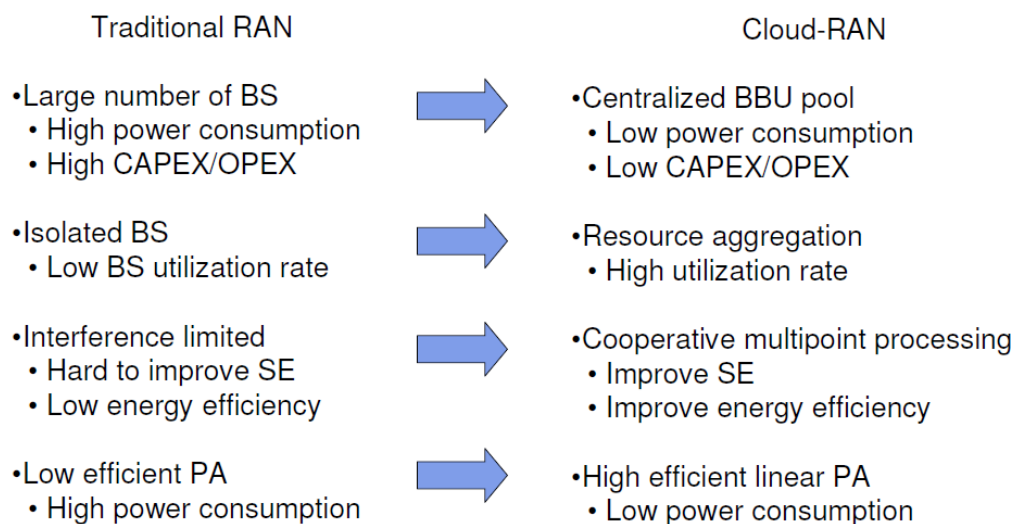
3.3.1 Πλεονεκτήματα της C-RAN

Από την πλευρά των επιχειρήσεων, αναμένεται ότι η C-RAN θα αποφέρει σημαντικές μειώσεις σε OPEX και CAPEX και αυτό οφείλεται στη μείωση του κόστους αναβάθμισης. Ένας σημαντικός λόγος για αυτό είναι η συγκέντρωση και η συγκέντρωση της υπολογιστικής ισχύος BBU(Backup Battery Unit) η οποία μπορεί να αναθέσει το φορτίο σε διαφορετικούς σταθμούς ανάλογα με το φόρτο που έχει κάθε σταθμός βάσης. Για να επιτευχθεί η εξοικονόμηση επεξεργαστικής ισχύος θα πρέπει επίσης να υπάρχει χώρος για οποιεσδήποτε περαιτέρω βελτιώσεις του

δυναμικού της τεχνολογίας (π.χ., χαρακτηριστικά LTE-A), χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για περαιτέρω CAPEX.

Μεγάλη εξοικονόμηση σε CAPEX / OPEX μπορεί να επιτευχθεί και με τους παρακάτω τρόπους :

- Energy Saving Management (ESM). Όταν ένας σταθμός βάσης δεν έχει μεγάλο φόρτο από χρήστες κινητής θα είναι πολύ πιο εύκολο να σβήσουν κάποιες από τις πηγές ενέργειάς τους σε σχέση με τους σταθμούς που ακολουθούν την παραδοσιακή RAN αρχιτεκτονική.
- Η C-RAN επιτρέπει την κοινή χρήση κεραιών και έτσι πολλοί πάροχοι θα μπορούν να μοιράζονται το BBU , το RRH και το φάσμα
- Τα RRH χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια από ότι οι παραδοσιακοί σταθμοί βάσης.
- Εικονικοποίηση (virtualization) του software της RAN τεχνολογίας.
- Η αξιοπιστία της RAN υποδομής ενισχύεται.
- Μπορεί να γίνει χρήση φθηνότερων υλικών από αυτά των παραδοσιακών σταθμών βάσης καθώς δεν χρειάζεται να υπάρχουν κατά παραγγελία υλικά όπως γίνεται με τους συμβατικούς σταθμούς βάσης.
- Είναι πιο εύκολο να αναπτυχθεί / βελτιωθεί η λειτουργία τους.



Εικόνα 3.8: Πλεονεκτήματα της C-RAN

Η αρχιτεκτονική C-RAN είναι σήμερα ένα «καυτό» θέμα για την ερευνητική κοινότητα, τις ομάδες τυποποίησης και τους συνδέσμους της βιομηχανίας. Η επόμενη γενιά δικτύων κινητών επικοινωνιών (NGMN) ¹ παίζει ένα σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό και τον καθορισμό των απαιτήσεων, το δυναμικό των λύσεων και την τυποποίηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

CLOUD-RAN ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΗΣ

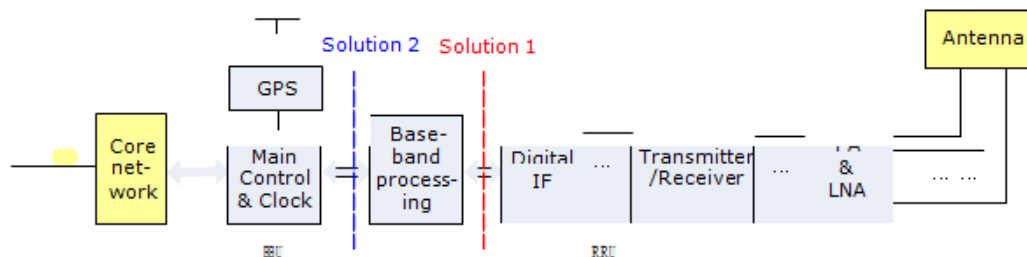
4.1 Αρχιτεκτονική του C-RAN

Το C-RAN αποτελείται κυρίως από τρία μέρη: το πρώτο είναι οι διανεμημένες μονάδες κεραιών που μπορεί να είναι αναφέρονται ως RRHs κεραιές που βρίσκονται σε απομακρυσμένη τοποθεσία. Δεύτερο είναι το υψηλού εύρους και χαμηλής καθυστέρησης οπτικό δίκτυο μεταφορών που συνδέει τα RRHs με τα BBU και το τρίτο είναι , το BBU που αποτελείται από προγραμματιζόμενους επεξεργαστές υψηλής απόδοσης και την τεχνολογία εικονικοποίησης σε πραγματικό χρόνο. Διαφορετικές τεχνολογίες RAT (Radio Access Technology) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση της C-RAN σε φυσικό επίπεδο. Είναι μια φυσική εξέλιξη της τεχνολογίας των κατακεντρωμένων σταθμών βάσης η οποία αποτελείται από BBU και RRH.

Το RRH είναι υπεύθυνο για τις λειτουργίες των κεραιών από την μετάδοση και λήψη σημάτων RF και την προσαρμογή αυτών στο δίκτυο μεταφορών. Περιλαμβάνει ενίσχυση RF, πάνω / κάτω μετατροπέα , φίλτρο , μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα και το αντίστροφο. Συνδέει μέσω οπτικής δίκτυα μεταφορών με cloud BBU.

Υπάρχουν δύο είδη λύσεων C-RAN: το ένα ονομάζεται «full centralization»(πλήρης συγκεντρωτισμός), όπου το BBU περιλαμβάνει όλα τα στρώματα που αναφέρονται παραπάνω ενώ άλλο ονομάζεται «partial centralization», όπου η RRH ενσωματώνει όχι μόνο τη λειτουργία της αλλά και τη λειτουργία βασικής ζώνης, ενώ όλες οι άλλες ανώτερες λειτουργίες εξακολουθούν να βρίσκονται στην BBU.

Η διαφορετική μέθοδος φαίνεται στην εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1 Διαφορετικές μέθοδοι διαχωρισμού του BTS.

Πρόσθετες λειτουργίες μπορεί να περιλαμβάνονται στις RRHs ώστε να μειωθεί το φορτίο στο δίκτυο:

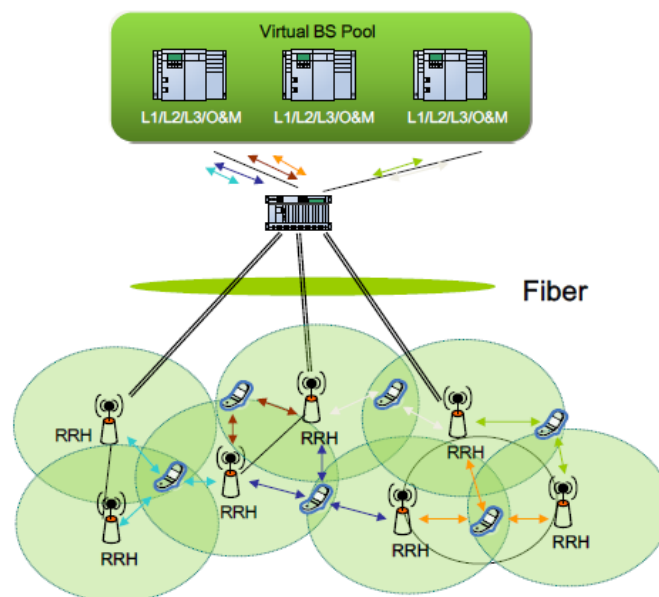
- RRH σε σχήμα αλυσίδας .
- Συμπύεση δεδομένων.
- Λειτουργίες που συνδέονται με ειδική επεξεργασία σήματος κεραιών .

Το οπτικό δίκτυο μεταφορών αποτελείται από φυσική ίνα και συσκευές μεταφοράς. Η BBU Cloud αποτελείται από πολλά όμοια BBU που συνδέονται μεταξύ τους. Παρέχει τη δυνατότητα να συγκεντρώνουν την επεξεργαστική ισχύ των BBU μαζί και να κατανομούν την επεξεργαστική ισχύ, σε πραγματικό χρόνο, σύμφωνα με το φορτίο του δικτύου. Η «πλήρως συγκεντρωτική» αρχιτεκτονική C-RAN, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2, έχει τα πλεονεκτήματα της εύκολης αναβάθμισης και επέκτασης της χωρητικότητας του δικτύου, έχει επίσης καλύτερη ικανότητα για την υποστήριξη πολλαπλών προτύπων λειτουργίας, μέγιστη κατανομή των πόρων, και είναι πιο βολικό για την υποστήριξη επεξεργασίας σήματος.

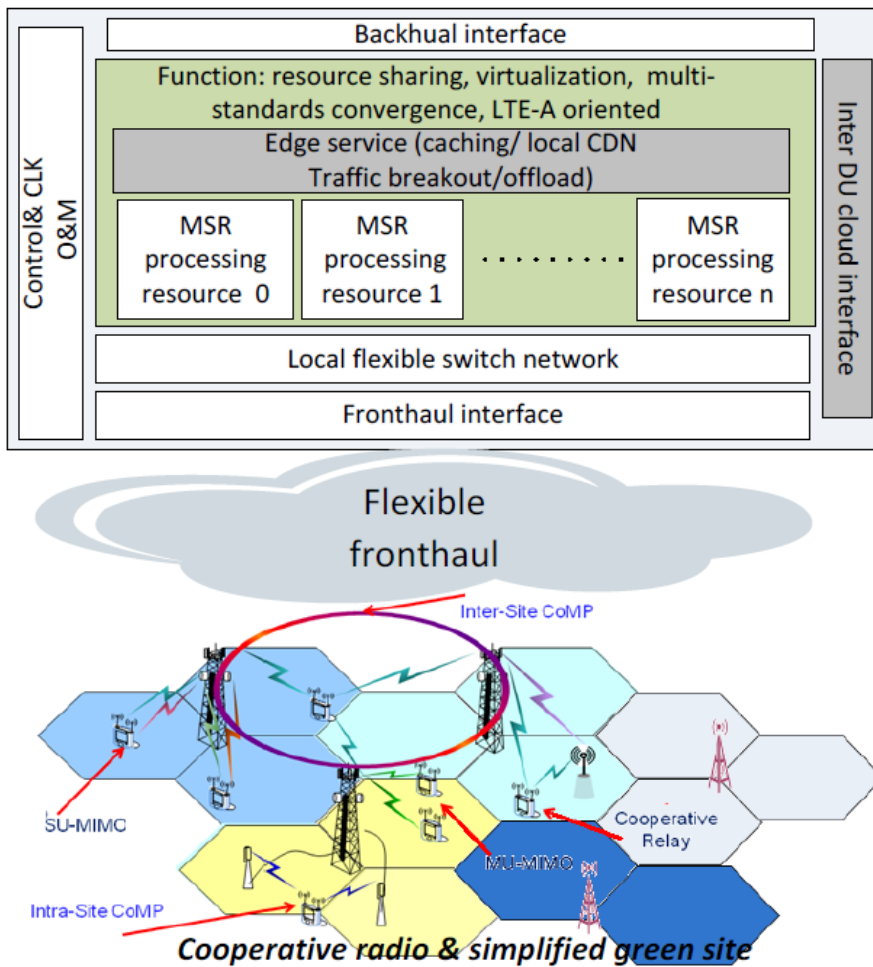
4.2 Λειτουργίες της C-RAN

4.2.1 Κεραίες πάνω σε δίκτυο οπτικών ινών χαμηλού κόστους

Στο C-RAN, η οπτική ίνα μεταξύ BBU και RRHs πρέπει να φέρει μία μεγάλη ποσότητα δεδομένων δειγματοληψίας βασικής ζώνης σε πραγματικό χρόνο. Λόγω της ευρείας ζώνης απαιτήσεων του LTE συστήματος και της τεχνολογίας πολλαπλών κεραιών, το εύρος ζώνης των οπτικών συνδέσεων μεταφοράς για τη μετάδοση πολλαπλών στοιχείων δειγματοληψίας RRH είναι 10 gigabit.



Εικόνα 4.2: Αρχιτεκτονική C-RAN 1: Πλήρως συγκεντρωτική μέθοδος



Εικόνα 4.3: Επισκόπηση των λειτουργιών του CRAN

4.2.2 Εμπλουτισμένη συνεργατική μετάδοση

Η κοινή επεξεργασία είναι το κλειδί για την επίτευξη υψηλότερης αποδοτικότητας του φάσματος του συστήματος. Να μειωθούν οι παρεμβολές του συστήματος, έτσι ώστε αλγόριθμοι επεξεργασίας πολλαπλών να μπορούν να κάνουν χρήση των ειδικών πληροφοριών για το κανάλι και να αξιοποιηθεί η συνεργασία μεταξύ τους. Θα πρέπει να αναπτυχθούν πολλαπλές κεραιές σε διαφορετικές φυσικές τοποθεσίες.

Ο κοινός προγραμματισμός των πόρων των κεραιών είναι επίσης απαραίτητος για τη μείωση των παρεμβολών και την αύξηση της ικανότητάς τους. Για να υποστηριχθούν οι παραπάνω αλγόριθμοι θα πρέπει οι πληροφορίες τόσο των δεδομένων των τελικών χρηστών και του Uplink (UL) / DL καναλιού να μοιράζονται μεταξύ των ίδιων εικονικών σταθμών βάσης. Η διασύνδεση μεταξύ των εικονικών σταθμών βάσης θα πρέπει να υποστηρίζει μεγάλο εύρος ζώνης και χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση για να εξασφαλίσει επεξεργασία του σήματος σε πραγματικό χρόνο. Οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται σε αυτήν τη διεπαφή περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους από τις ακόλουθους τύπους: το πακέτο δεδομένων των τελικών χρηστών, UE πληροφορίες καναλιού, και πληροφορίες προγραμματισμού εικονικών σταθμών βάσης.

Μέσα από την κεντρική επεξεργασία σε C-RAN, η από κοινού επεξεργασία γίνεται σχετικά εύκολη. Η κοινή επεξεργασία περιλαμβάνει όχι μόνο δείγμα που ορίζεται στο 3GPP, αλλά και πολλές άλλες τεχνολογίες, όπως ο από κοινού προγραμματισμός, κοινή παρέμβαση ευθυγράμμισης/ακύρωσης και άλλες πιο προηγμένες τεχνολογίες του μέλλοντος που θα μπορούσαν να ωφεληθούν από την αρχιτεκτονική του C-RAN.

4.2.3 Baseband Pool διασύνδεση

Η αρχιτεκτονική C-RAN συγκεντρώνει ένα μεγάλο αριθμό BBUs μέσα σε μία φυσική θέση, έτσι η ασφάλεια του είναι ζωτικής σημασίας για το σύνολο του δικτύου. Για την επίτευξη υψηλής αξιοπιστίας σε περίπτωση αποτυχίας της μονάδας, προκειμένου να ανακτήσει από σφάλμα, και για να καταστεί δυνατή η ευέλικτη κατανομή των πόρων του BBU, πρέπει να υπάρχει ένα μεγάλο εύρος ζώνης, χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση, χαμηλού κόστους του διακόπτη δικτύου με ευέλικτη, επεκτάσιμη τοπολογία που διασυνδέει τα BBUs μέσα στο pool. Μέσω αυτού του δικτύου μεταγωγής, τα ψηφιακά σήμα μπορούν να δρομολογηθούν από οποιοδήποτε RRH σε οποιοδήποτε BBU για επεξεργασία. Μια μεγάλης κλίμακας baseband λύση διασύνδεσης θα πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξει 10 - 1000 macro BS, με τις ακόλουθες απαιτήσεις :

- Η σύνδεση μεταξύ BBUs πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις του ασύρματου σήματος, που είναι : χαμηλή καθυστέρηση, υψηλή ταχύτητα και υψηλή αξιοπιστία. Οι απαιτήσεις είναι παρόμοιες με αυτές της διασύνδεσης Public Radio (CPRI) / IR / Open BBU-RRH Interface (OBRI) interface, και θα πρέπει να υποστηρίζει σε πραγματικό χρόνο τη μετάδοση των 2,5 ρυθμού / 6.144 / 10Gbps.

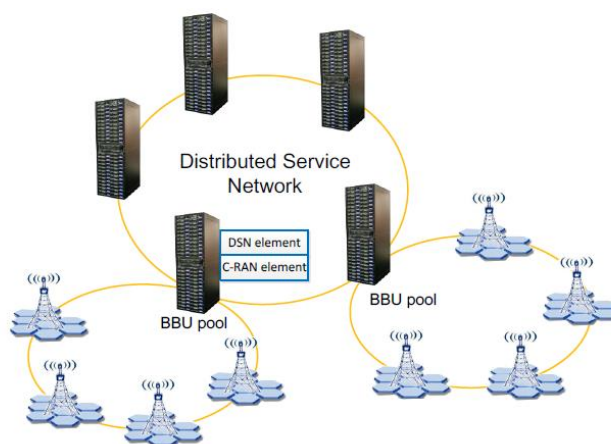
- Δυναμικός προγραμματισμός του φορέα μεταξύ των BBU's έτσι ώστε να επιτευχθεί αποτελεσματική ισορροπία φορτίου εντός του συστήματος και η προστασία αυτού χωρίς διακοπή της υπηρεσίας.
- Θα πρέπει να υποστηρίζει τη συνεργασία πολλαπλών σημείων (COMP). Θα πρέπει να εξετάσει τη ροή δεδομένων μεταξύ των διαφορετικών BBU's να υποστηρίζει τη συνεργασία των κεραιών.
- Ανοχή σε σφάλματα. Η σύνδεση μεταξύ ινών θα πρέπει να υποστηρίζει 1 + 1 προστασία από αποτυχία για την επίτευξη υψηλής ανθεκτικότητας του συστήματος.
- Υψηλή επεκτασιμότητα: μπορεί να παρατείνει την ικανότητα του συστήματος ομαλά χωρίς διακοπή στις υπηρεσίες.

4.2.3.1 Κατανεμημένη υπηρεσία δικτύου

Το DSN(Distributed Service Network) χτίζει ένα ελαστικό σύστημα υψηλής χωρητικότητας Point to Point τεχνολογίας (P2P), η οποία εξασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία του συστήματος και βασίζεται στην ανεκτικότητα στις καταστροφές και στην τεχνολογία αυτόματης ανάκτησης στην εφαρμογή λογισμικού. Με τη χρήση «self-organization» και «self-adapting» τεχνολογίας, σε συνθήκες παραγωγής η βλάβη του εξοπλισμού ή υπερφόρτωση, μπορεί να ολοκληρωθεί αυτόματα με λίγη χειρωνακτική εργασία, μειώνοντας έτσι το OPEX.

Το DSN μπορεί να αντικαταστήσει τον παραδοσιακό εξοπλισμό carrier-class με ένα γενικού σκοπού server, και να εισάγει την τεχνολογία virtualization καθώς οι κόμβοι DSN είναι έγκλειστοι σε Virtual Machines (VM), μέσω VM ζωντανή μεταφοράς, όταν η κίνηση πέφτει, πολλαπλοί κόμβοι DSN μπορεί να συσσωματώνονται σε λίγους φυσικούς διακομιστές και άλλοι servers μπορεί να απενεργοποιηθούν, υλοποιώντας έτσι διατήρηση της ενέργειας και μείωση των εκπομπών.

Σε ένα στρώμα πλατφόρμας, το DSN και το C-RAN ενσωματώνουν τα στοιχεία του δικτύου τους μέσω της τεχνολογίας virtualization έτσι ώστε να είναι δυνατόν να τρέξουν DSN και C-RAN στην ίδια virtualized πλατφόρμα.

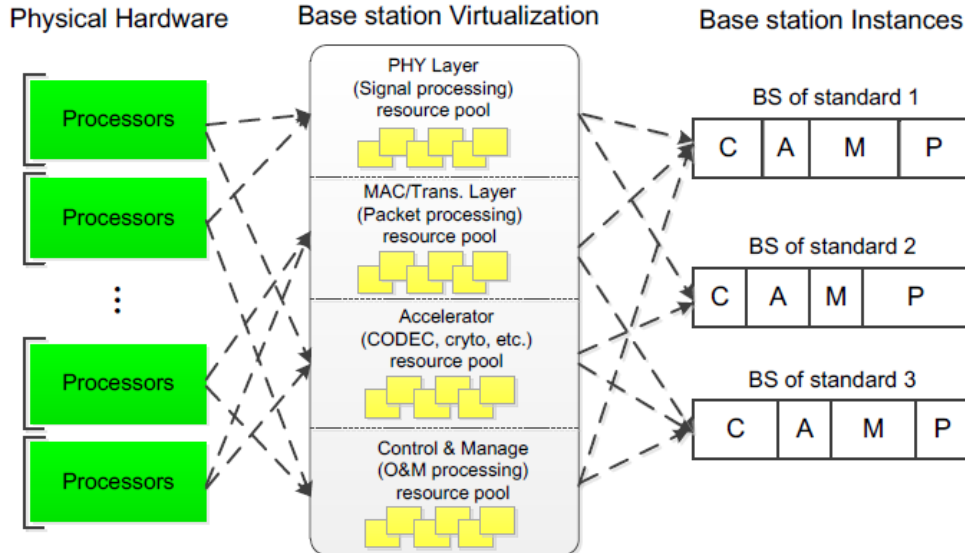


Εικόνα 4.4: C-RAN Ολοκληρωμένο με DSN

4.2.4 Σταθμοί βάσης με τεχνολογία virtualization.

Αφού οι μονάδες επεξεργασίας των σταθμών βάσης τοποθετηθούν σε ένα κεντρικό pool, είναι απαραίτητο να σχεδιαστούν τεχνολογίες virtualization για διανέμουν/ομαδοποιούν τις μονάδες στους κεντρικούς σταθμούς βάσης όπου γίνεται η επεξεργασία. Οι μεγάλες προκλήσεις του virtualization είναι: Εφαρμογή του αλγόριθμου επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο, virtualization της επεξεργασίας baseband pool και δυναμική κατανομή επεξεργασίας να ασχοληθεί με τη δυναμική επεξεργασία κατανομής της χωρητικότητας έτσι ώστε να μπορεί να διαχειριστεί το φορτίο του συστήματος.

Ο όρος virtualization αναφέρεται στην άντληση των πόρων του υπολογιστή. Κρύβει τα φυσικά χαρακτηριστικά μιας υπολογιστικής πλατφόρμας από τους χρήστες, και αντί αυτού δείχνει ένα μέρος μίας άλλης υπολογιστικής πλατφόρμας. Αν μια τέτοια ιδέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα σύστημα σταθμού βάσης, ο χειριστής μπορεί να κατανέμει δυναμικά τους πόρους επεξεργασίας στο πλαίσιο ενός κεντρικού baseband pool σε διαφορετικούς εικονικούς σταθμούς βάσης και να κάνει χρήση των διαφόρων προτύπων διεπαφής αέρα. Αυτό επιτρέπει στον χειριστή να υποστηρίξει αποτελεσματικά την ποικιλία των προτύπων διεπαφής αέρα. Ταυτόχρονα, η κοινή πλατφόρμα υλικού θα παρέχει του αποτελεσματικότερη διαχείριση κόστους που αφορά τη συντήρηση, την επέκταση και την αναβάθμιση του σταθμού βάσης. Τα baseband pools που θα εικονικοποιούνται σε πραγματικό χρόνο θα είναι μέρος του ασύρματου δικτύου επόμενης γενιάς, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5.

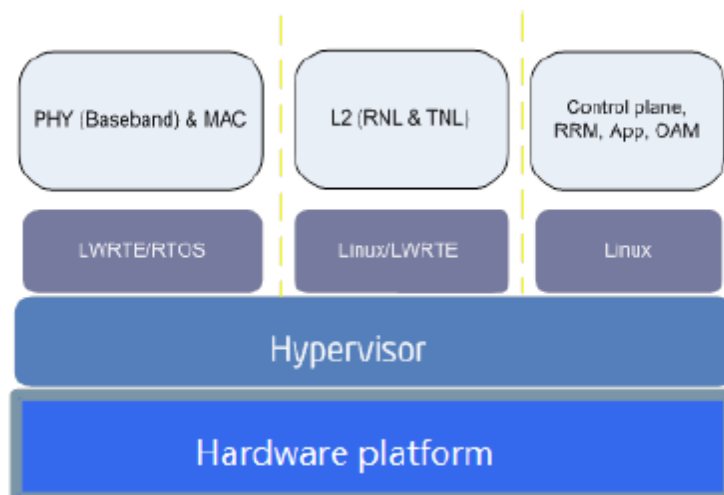


Εικόνα 4.5 : Baseband Pool

Μέσα στο υπάρχον baseband pool, όλοι οι πόροι επεξεργασίας φυσικού στρώματος θα πρέπει να διαχειρίζονται και να διατίθενται από ένα virtualized λειτουργικό σύστημα σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, ένα παράδειγμα σταθμός βάσης μπορεί να κατασκευαστεί εύκολα μέσω ενός ευέλικτου συνδυασμού των πόρων αυτών. Το πραγματικού χρόνου virtualized λειτουργίας σύστημα (OS) θα προσαρμόσει, την κατανομή και ανακατανομή των πόρων με βάση τις απαιτήσεις κάθε σταθμού βάσης, προκειμένου να ανταποκριθεί σε αυτές.

Όλες οι προσαρμογές θα γίνουν μόνο στο επίπεδο του λογισμικού. Με το μηχανισμό αυτό, οι σταθμοί βάσης διαφορετικών προτύπων μπορεί εύκολα να δημιουργηθούν μέσω αναδιαμόρφωσης στο αρχικό λογισμικό. Επίσης τα συνεργατικά συστήματα πολλαπλής εισόδου/πολλαπλής εξόδου (MIMO) μπορούν να επεξεργαστούν δυναμικά τους απαιτούμενους πόρους. Επιπλέον, η επεξεργασία των πόρων αυτών μπορεί να ανατεθεί σε ένα σφαιρικό σύστημα ,και έτσι η αξιοποίηση τους μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά.

Το σχήμα 4.6 παρουσιάζει ένα παράδειγμα της έννοιας του virtualization, στην οποία ο «hypervisor» είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση των Virtual Machines. Τρία διαφορετικά συστήματα λειτουργίας εξυπηρετούνται στην κορυφή του hypervisor. Τρεις διαφορετικές εργασίες εκτελούνται στο VM.



Εικόνα 4.6 : Παράδειγμα virtualization.

Τρεις μορφές του virtualization σε ένα C-RAN μπορεί, να συνυπάρχουν σε ένα cloud BBU, με βάση την GPP πλατφόρμα: το υλικό (hardware) που χρειάζεται το virtualization, το δίκτυο του virtualization και η virtualization εφαρμογή.

- Σε γενικές γραμμές, ένα μέρος του υλικού του RAN είναι virtualized δηλαδή ένας hypervisor χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει και να διαχειριστεί ένα εικονικό στρώμα RAN. Ο hypervisor μπορεί να είναι τύπου 1 ή τύπου 2. Οι τύπου 1 hypervisors τρέχουν στο γυμνό μέταλλο και μπορεί να υποστηρίξουν Λειτουργικά Συστήματα Πραγματικού χρόνου (Real Time Operation Systems RTOSs). Οι τύπου 2 hypervisors λειτουργούν με την κορυφή του RTOSs. Το στρώμα που εικονικά μπορεί να είναι ένα τμήμα του Physical (PHY) στρώματος ή ένα στρώμα protocol oriented, όπως το Media

Access Control (MAC) στρώμα και πάνω. Σκοπός του virtualization είναι να επιτρέψει τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση του υλικού, ώστε να μπορέσει να γίνει πλήρης μετάβαση στην περίπτωση αποτυχίας δικτύου και να είναι σε θέση διαχείρισης της υποδομής C-RAN από ένα ενιαίο Application Programming Interface (API).

- Σε virtualization δίκτυο, τα στοιχεία του δικτύου, όπως δρομολογητές, διακόπτες, στοιχεία αποθήκευσης και μέσα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων συνδυάζονται σε ένα pool που διοικείται από ένα λειτουργικό σύστημα δικτύου.
- Η εφαρμογή virtualization είναι επίσης εντός του RAN. Μπορεί να είναι ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό όταν απαιτείται σε ένα περιβάλλον εκτέλεσης π.χ. ένα δίκτυο φορέων διαχείρισης εφαρμογής να αντικατασταθεί από ένα στρώμα virtualization που θα κρύψει τη συγκεντροποίηση του RAN μέχρι το προσαρμοσμένο λογισμικό να είναι γραμμένο για την αρχιτεκτονική αυτή. Μπορεί να επιτρέψει στις υπάρχουσες εφαρμογές να τρέχουν στο C-RAN, χωρίς την ανάγκη να ξαναγραφτεί το λογισμικό.

4.2.5 Καταμερισμός πόρων / Ενοποίηση

Η κατανομή των πόρων και η ενοποίησή τους αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της C-RAN για το κόστος και την εξοικονόμηση ενέργειας. Η Δυναμική της μεταφοράς του φορτίου είναι μια πιθανή λύση για την ανταλλαγή / εξυγίανση των πόρων. Ένα μοντέλο «Ελέγχου των πόρων» στο BBU ελέγχει και αποφασίζει τη διαδικασία της μεταφοράς.

Η διαιρετότητα της μεταφοράς είναι συγκεκριμένης υλοποίησης. Για παράδειγμα, ένας τομέας ενός κελιού με (L1 + L2 + L3) μπορεί να είναι η βασική μονάδα της μεταφοράς. Εναλλακτικά, μπορεί επίσης να είναι μόνο το L1 που θα μεταναστεύσει όταν τα L2 / L3 από διάφορους τομείς είναι συγκεντρωμένα και υποβάλλονται σε επεξεργασία. Η λειτουργία ελέγχου πόρων έγκειται κυρίως στο C-RAN, η οποία θα πρέπει περιλαμβάνει σημαντικά στοιχεία όπως:

- Δυναμική διατιθέμενων πόρων επεξεργασίας μεταξύ διαφορετικών προτύπων κεραιών στην ίδια περιοχή.
- Δυναμική διατιθέμενων πόρων επεξεργασίας μεταξύ των διαφόρων περιοχών που βασίζεται στο φόρτο του δικτύου.
- Δυναμική λειτουργία συνεταιρισμού ανάλογα με την κατάσταση του φορτίου του δικτύου υποστήριξης.

4.2.6 Υποστήριξη Multi-RAT

Η C-RAN θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα για την υποστήριξη multi-RAT στο ίδιο cloud BBU για την ενδο-RAT κατανομή των πόρων και την ενοποίησή τους. Το Multi-RAT περιλαμβάνει το GSM, το Διεθνές Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunication Systems UMTS) και το LTE. Η επεξεργασία μονάδας cloud BBU θα πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτη ώστε να υποστηρίζει πολλαπλά RAT. Ένας πιθανός τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η χρήση Software Defined Radio (SDR) βασισμένο σε BBU έτσι ώστε να επεξεργαστεί οποιοδήποτε πρωτόκολλο. Εναλλακτικά, ανάλογα με το σχεδιασμό, το BBU μπορεί να χρειάζεται έναν επιταχυντή υλικού για τον υπολογισμό του φορτίου εντατικών εργασιών, όπως για παράδειγμα έναν αποκωδικοποιητή turbo υψηλής απόδοσης.

Η Multi-RAT υποστήριξη της C-RAN θα πρέπει να επικεντρωθεί στα ακόλουθα σημεία :

- Διαφορετικά πρότυπα κεραιών θα μπορούν ευέλικτα λειτουργούν με το ίδιο υλικό σε cloud BBU / BBU πλατφόρμες .Το SDR που βασίζεται BBU / BBU cloud θα πρέπει να μπορεί να επεξεργαστεί οποιοδήποτε πρωτόκολλο.
- Το Fronthaul δίκτυο θα μπορεί να μεταδώσει Multi-RAT δεδομένα χρησιμοποιώντας την ίδια μορφή πλαισίου.
- Τα RRHs διαφορετικών προτύπων κεραιών και διαφορετικής ζώνης μπορεί να κλιμακώνονται προς υποστήριξη της λειτουργίας της πολυπλεξίας προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η χρήση των fronthaul πόρων.

4.2.7 Κοινή χρήση δικτύου

Η κοινή χρήση δικτύου είναι μια πρακτική απαίτηση όχι μόνο για το παραδοσιακό RAN αλλά και για το C-RAN. Η κοινή χρήση δικτύου μπορεί να φέρει κάποια οφέλη για τις επιχειρήσεις, όπως:

- Μείωση του κόστους σε δίκτυα πρόσβασης κεραιών από την κατανομή των περιοχών και τη μείωση του αριθμού RRHs για την ίδια περιοχή κάλυψης.
- Γρήγορη εξαγορά των περιοχών για την επέκταση του δικτύου.
- Γρήγορη ανάπτυξη σε νέες αγορές.
- Κοινή χρήση των συχνοτήτων.

Σήμερα η κοινή χρήση δικτύου έχει κυρίως τη μορφή στατικής ανταλλαγής μεταξύ των παρόχων με βάση την κάθε συμφωνία. Στην πραγματική ζωή, λόγω των εμφανών διακυμάνσεων του κυκλοφοριακού φορτίου σε προσωρινές γεωγραφικές διαστάσεις, υπάρχει περιορισμός στη δυνατότητα κοινής χρήσης. Σε ένα μεταγενέστερο χρονικό πλαίσιο, η δυναμική ή ημι-δυναμική κατανομή πόρων μεταξύ των παρόχων θα μπορούσε να λειτουργήσει κάνοντας περισσότερο επαρκή χρήση των πόρων αυτών.

Η χαρτογράφηση των λειτουργιών κοινής χρήσης δικτύου σε παρόχους του C-RAN μπορεί να βασιστεί στα ακόλουθα θέματα:

- Επιλογή 1: Να γίνεται κοινή χρήση των πόρων BBU, των συνδέσεων ινών και των θέσεων RRH με ευελιξία για τη διαχείριση του baseband και των κεραιών ανάλογα με το φορτίο στο δίκτυο κ.λπ., έτσι ώστε να επιτρέπεται στις επιχειρήσεις να μοιράζονται το πλεόνασμα του baseband, του φάσματος και της κάλυψης με βάση την πολιτική που έχει οριστεί στο εσωτερικό του BBU.
- Επιλογή 2: Κοινή χρήση των περιοχών RRH με την δυνατότητα να διατηρεί ξεχωριστούς BBU πόρους .
- Επιλογή 3: Κοινή χρήση των πόρων BBU με την δυνατότητα να διατηρεί ξεχωριστή περιοχή RRH.

4.3 Εξαρτήματα C-RAN

A) Το C-RAN αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία:

I. RRH δηλαδή Radio Unit (RU) οντότητες.

II. Οπτική υποδομή μεταφορών.

III. Cloud πραγματικού χρόνου (real time cloud) για την κεντρική επεξεργασία.

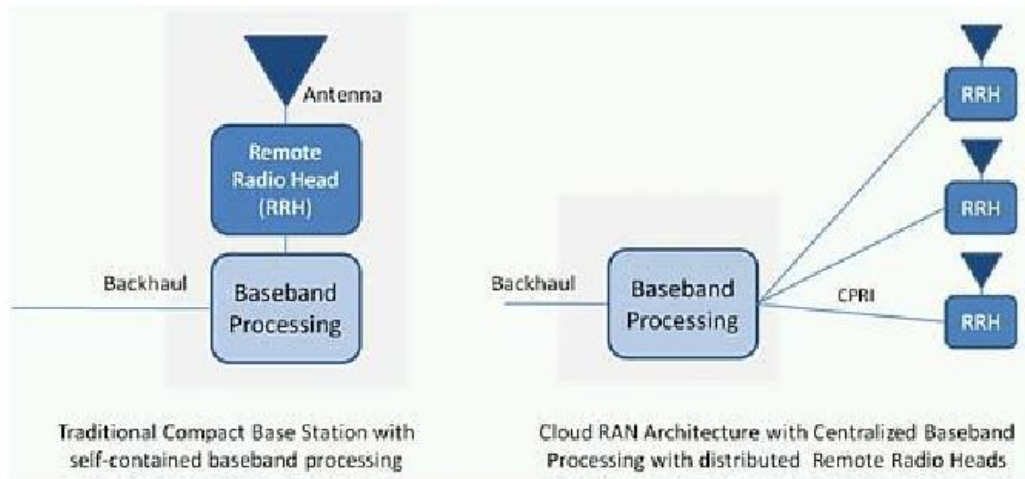
4.3.1 Απομακρυσμένες τοποθεσίες κεραιών

Μια απομακρυσμένη περιοχή αποτελείται από τον εξοπλισμό radio, από κεραιές, από εξοπλισμό μετάδοσης backhaul και άλλο βοηθητικό εξοπλισμό, όπως εξοπλισμό παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, πύργους, εξοπλισμούς παρακολούθησης, κλπ .Μια τυπική αλλαγή για το C-RAN είναι ότι η BBU οντότητα δεν είναι πλέον στην απομακρυσμένη τοποθεσία.

Οι RRH οντότητες αποτελούνται από ένα σύστημα κεραιών, ενισχυτή ισχύος και χαμηλού θορύβου ενισχυτή (LNA) και μετατροπέα A / D. Από όλες τις λειτουργίες επεξεργασίας baseband που υπάρχουν πλέον στο χώρο, οι οντότητες αυτές έχουν πολύ λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και η πολυπλοκότητά τους μειώνει άμεσα την τιμή τους. Το γεγονός αυτό δημιουργεί δυνατότητα αύξησης της πυκνότητας της ανάπτυξης RRH σε ορισμένες περιοχές, πρώτα από όλα στις αστικές περιοχές με υψηλά φορτία κυκλοφορίας. Λόγω του πολύ περιορισμένου φάσματος λειτουργιών τα RRH μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καθολική λύση στο χώρο κυψελών για διαφορετικά πρότυπα (2G, 3G, LTE, LTE-A), κάτι το οποίο καθιστά τη διαδικασία για τη βελτίωση και την προσαρμογή RAN πολύ απλούστερη και φθηνότερη .

Σε αντίθεση με την έννοια του κλασσικού σταθμού βάσης που φαίνεται ως μία μονάδα συστήματος που αποτελείται από στενά συνδεδεμένες οντότητες RRH και BBU το C-RAN αντιπροσωπεύει το σύστημα των μακρινών οντοτήτων RRH που θα συνδεθεί χρησιμοποιώντας συνδέσεις υψηλού εύρους ζώνης σε ένα ενιαίο κεντρικό σημείο (cloud) το οποίο είναι υπεύθυνο για το σύνολο της μεταποίησης του BBU σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή.

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.7, το σύνολο της επεξεργασίας σήματος βασικής ζώνης, η οποία απαιτεί την πλειονότητα των πόρων επεξεργασίας τώρα μεταφέρθηκε από το cell site σε μια απομακρυσμένη θέση δηλαδή στο cloud.



Εικόνα 4.7: Βασικό μοντέλο BS και μοντέλο C-RAN

Το RRH μπορεί να συνδεθεί με BBU από ίνες κάτω από διαφορετικές τοπολογίες, όπως αστέρι, αλυσίδα, δέντρο, δαχτυλίδι, δαχτυλίδι + αλυσίδα, κ.λπ.

Διάφοροι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι σε διάφορες περιοχές λειτουργούν με multi-RATs σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων και κάποια από αυτά έχουν την απαίτηση να αναδιαμορφωθεί η παλιά ζώνη συχνοτήτων για την ανάπτυξη νέων προτύπων. Έτσι το RRH πρέπει να σχεδιαστεί για να υποστηρίξει πολλαπλά πρότυπα και ζώνες πολλαπλών συχνοτήτων. Ταυτόχρονα, οι απαιτήσεις όπως λιγότερη RRH κατανάλωση ενέργειας, υψηλότερο δείκτη RRH / Απόδοση Ενισχυτή Ισχύος (PA), μικρότερο RRH όγκο, ελαφρύτερα και υψηλότερο ολοκληρωμένο επίπεδο φέρει τόσες πολλές προκλήσεις για τον σχεδιασμό του RRH.

4.3.2 Υποδομή Fronthaul Δικτύων Οπτικών Μεταφορών

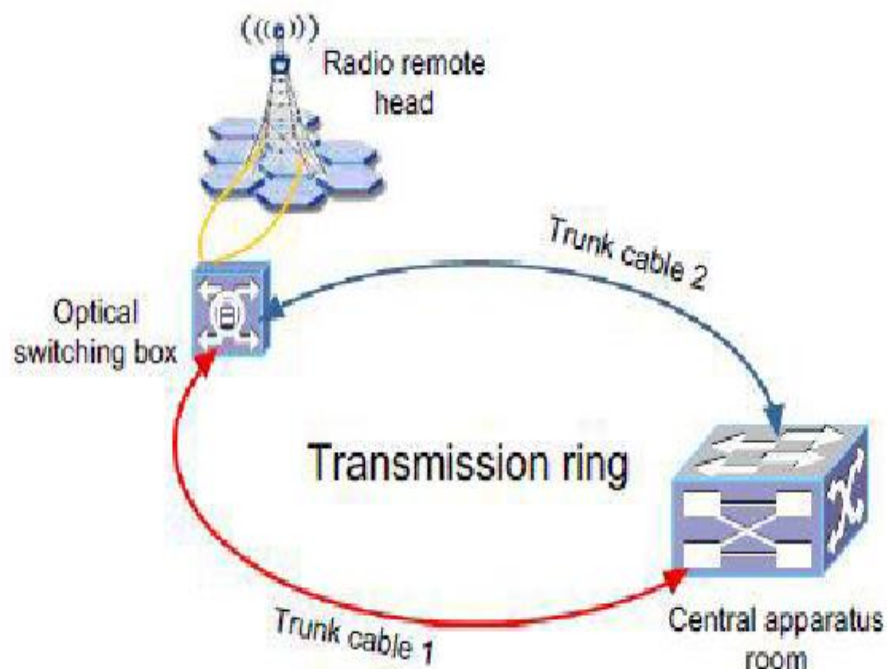
Η αρχιτεκτονική C-RAN, η οποία αποτελείται από το κατακεκομμένο RRH και BBU, σημαίνει ότι υπάρχει ανάγκη για την ασύρματη μεταφορά μη επεξεργασμένου σήματος μεταξύ BBU και RRH. Οι απαιτήσεις σύνδεσης BBU-RRH θέτουν προκλήσεις για την οπτική μετάδοση την ταχύτητα και την ικανότητα. Θεωρώντας εντατική την ανάγκη ανάπτυξης της διεπαφής αέρα, η απόδοση που θα πρέπει να παρέχεται στη σύνδεση μεταξύ RRH-cloud μετρείται σε Gbps για το LTE και το LTE-A.

Χαμηλό ποσοστό αφάνειας και υψηλή αξιοπιστία (συστήματα πλεονασμού) είναι επίσης απαραίτητα. Συνήθως, η μετάδοση μέσω οπτικών ινών θα πρέπει να χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το σήμα μεταξύ BBU και RRH.

Για την ασύρματη διανομή σήματος από τον κεντρικό επεξεργαστή μέχρι τις απομακρυσμένες μονάδες χρησιμοποιείται οπτική ίνα που έχει συζευχθεί με μήκος κύματος : **Division Multiplexing (WDM)** ή / και με **Time Division Multiplexing (TDM)** που έχουν τόσο υψηλή αξιοπιστία όσο και χαμηλή καθυστέρηση. Υπάρχουν δύο επιλογές για τη μεταφορά των ασύρματων σημάτων: (i) ψηφιοποιημένα σήματα μέσω CPRI, ή (ii) αναλογικό σήμα μέσω οπτικών ινών (RoF). Ενώ το πρώτο έχει λιγότερη υποβάθμιση και μπορεί να μεταφέρει ασύρματα σήματα σε μεγάλες αποστάσεις (σε σύγκριση με RoF), το τίμημα είναι το αυξημένο εύρος ζώνης που απαιτείται για την backhaul μεταφορά/

Ως βέλτιστη φυσική τοπολογία για αυτό το δίκτυο μεταφορών, είναι η τοπολογία δακτυλίου η οποία θα οδηγούσε σε δεκάδες Gbps δεδομένων κίνησης. Τεχνολογίες που θεωρούνται ως κύριες υποψήφιες για αυτή την υλοποίηση είναι :

- Dark Fiber
- WDM / Οπτικό Δίκτυο Μεταφορών (OTN),
- UniPON,
- Passive WDM



Εικόνα 4.8: Δακτύλιος προστασίας RRH

4.3.2.2 Καθυστέρηση μεταφοράς και απαιτήσεις μετρήσεων

Υπάρχουν επίσης αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά την καθυστέρηση στην μεταφορά . Σε καθυστέρηση μετάδοσης CPRI / Ir / OBRI, λόγω των αυστηρών απαιτήσεων του LTE / LTEA για την καθυστέρηση επεξεργασίας υπάρχει το φυσικό στρώμα το οποίο βελτιώνει επίσης την baseband ασύρματη μετάδοση σήματος. Μη συμπεριλαμβανομένου του χρόνου μεταφοράς, η συνολική καθυστέρηση δεν μπορεί να υπερβαίνει 5μs.

Από την άλλη πλευρά, επειδή το LTE / LTE-A έχει αυστηρές απαιτήσεις για καθυστέρηση στο physical layer , η συνολική καθυστέρηση μετάδοσης CPRI / Ir / OBRI δεν θα πρέπει να υπερβαίνει ένα ορισμένο επίπεδο. Το φυσικό στρώμα Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) είναι υπεύθυνο για την υψηλότερη καθυστέρηση επεξεργασίας. Η HARQ είναι μία σημαντική τεχνολογία για τη βελτίωση της απόδοσης του φυσικού επιπέδου, που στην ουσία δοκιμάζει το φυσικό στρώμα για την παραλαβή σωστής ή λανθασμένης μετάδοσης, και φροντίζει για την ταχεία ανατροφοδότησή της (Acknowledgement (ACK)/Not Acknowledged (NACK)) για την δρομολόγηση στο φυσικό στρώμα, το οποίο αποφασίζει αν η μετάδοση θα σταλεί ξανά ή όχι. Αν σταλεί και πάλι, ο δέκτης κάνει συνδυασμένη επεξεργασία σήματος με πολυ-δρομολόγηση στο φυσικό στρώμα, και στη συνέχεια παρέχει ανατροφοδότηση στο ανώτερο πρωτόκολλο μετά την επιτυχία αποδιαμόρφωσης. Σύμφωνα με τα LTE / LTE-A πρωτόκολλα, το AOK / NAOK HARQ στο uplink και downlink

διαδικασία θα πρέπει να ολοκληρωθεί σε 3 ms μετά την παραλαβή των σημάτων. Στη συντομότερη περίπτωση, που ορίζει ότι υποπλαίσιο καθυστέρησης η επεξεργασία στο φυσικό στρώμα θα πρέπει να είναι γενικά λιγότερο από 1 ms. Επειδή η ίδια η επεξεργασία στο φυσικό στρώμα παίρνει 800-900us , τότε η CPRI/Ir/OBRI καθυστέρηση οπτικής μετάδοσης μπορεί να είναι 100-200us.

4.3.2.3 Αξιοπιστία Συστήματος

Για την αξιοπιστία του συστήματος, καθώς τα παραδοσιακά δίκτυα οπτικής μετάδοσης (Synchronous Digital Hierarchy (SDH)/Packet Transport Networks (PTN)) παρέχουν αξιόπιστη προστασία βρόχου στις συνδέσεις πρόσβασης, αυτόματη αντικατάσταση και λειτουργία διαχείρισης σύνδεσης οπτικών ινών, η αρχιτεκτονική C-RAN για την πρόσβαση στο δίκτυο θα πρέπει επίσης να παρέχει συγκριτική αξιοπιστία και διαχειρισιμότητα. Στις παραδοσιακές αρχιτεκτονικές RAN, κάθε BBU στο δακτύλιο πρόσβασης συνήθως έχει πρόσβαση στο αντίστοιχο εξοπλισμό μετάδοσης από το κέντρο εκπομπής μέσω SDH / PTN. Μέσω της SDH / PTN δρομολόγησης του δακτυλίου και τη λειτουργία προστασίας, το σύστημα μπορεί να μεταβεί γρήγορα σε κατάσταση ασφαλούς δρομολόγησης όταν οποιοδήποτε σημείο σε αυτό το βρόχο βιώνει αποτυχία οπτικών ινών, εξασφαλίζοντας ότι η επιχείρηση δεν θα διακοπεί. Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική C-RAN, ένα δίκτυο δακτυλίου οπτικών ινών θα πρέπει επίσης να προσφέρει λειτουργία προστασίας. Η Συγκεντρωτική BBU θα πρέπει να μπορεί να στηρίξει περισσότερες από 10 με 1000 τοποθεσίες σταθμών βάσης. Αν συμβεί P2P μετάδοση οπτικών ινών μεταξύ κάθε RRH και BBU, τότε κάθε σφάλμα στη σύνδεση οπτικών ινών θα οδηγήσει στην αντίστοιχη απώλεια υπηρεσίας RRH. Προκειμένου να διασφαλιστεί η κανονική λειτουργία του όλου συστήματος υπό την προϋπόθεση ότι κάθε σημείο της αποτυχίας στην οπτική ίνα, η CPRI /Ir/OBRI σύνδεση με το BBU-RRH θα πρέπει να χρησιμοποιεί τεχνολογία δακτυλίου προστασίας δικτύου οπτικών ινών, χρησιμοποιώντας την κύρια/ ή τη δευτερεύουσα

οπτική ίνα διαφορετικών καναλιών έτσι ώστε να επιτευχθεί το backup της CPRI / Ir / OBRI σύνδεσης σε πραγματικό χρόνο .

Προκειμένου να αποφευχθεί το γεγονός η κάθε RRH να καταλαμβάνει δύο πλήρης οπτικές ίνες σε ένα φυσικό ζεύγος δρομολόγησης , οι RRHs μπορούν να συνδεθούν με το καθένα με κλιμακωτό τρόπο σύμφωνα με την προδιαγραφή διασύνδεσης CPRI/Ir/OBRI. Αυτό επιτρέπει δύο διαφορετικές τοποθετήσεις των καλωδίων κορμού για να σχηματίσουν ένα δακτύλιο και να συνδεθεί με το ίδιο BBU, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8. Εφ 'όσον το ποσοστό διεπαφή CPRI/Ir/OBRI είναι αρκετό, η υψηλή προστασία δικτύου της BBU-RRH τεχνολογίας δακτυλίου μπορεί να σώσει τη χρήση πολλών οπτικών ίνων και να εξασφαλίσει μια μικρή καθυστέρηση επιστροφής.

Όταν ένα καλώδιο κορμού αποτύχει, η RRH θα συνδεθεί με το BBU μέσω άλλου καλωδίου κορμού σε λιγότερο από 40ms ,χρόνος που μπορεί να εγγυηθεί ότι όλες τις διαδικασίες δεν θα διακοπούν. Για χαμηλότερο ποσοστό του συστήματος GSM, είναι ακόμα πιο εύκολο να συνδεθούν έξι ή περισσότερα RRHs μέσω ενός τέτοιου δακτυλιοειδούς συνδέσμου CPRI/Ir/OBRI και να επιτευχθούν οι ίδιες λειτουργίες. Ωστόσο, σύμφωνα με το LTE / LTE-A ένα σύστημα με υψηλότερο σήμα ασύρματου ρυθμού μετάδοσης, είναι απαραίτητο να εισαγάγει την τεχνολογία WDM να πραγματοποιήσει ένα βρόχο με παρόμοια λειτουργία προστασίας.

4.3.2.4 Απαιτήσεις Κόστους

Όσον αφορά το κόστος, η οπτική μονάδα υψηλής ταχύτητας που απαιτείται για την CPRI/Ir/OBRI οπτική διεπαφή θα είναι ανάμεσα στους σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την οικονομική δομή της C-RAN. Σε σύγκριση με την παραδοσιακή αρχιτεκτονική, ο ρυθμός αποστολής δεδομένων στο C-RAN είναι μεγαλύτερος κατά 100-200 φορές από τον ρυθμό αποστολής δεδομένων μετά την αποδιαμόρφωση. Το να δημιουργηθεί δίκτυο μεταφοράς ινών στις ήδη ανεπτυγμένες πόλεις είναι πολύ δύσκολο. Αυτό όμως είναι λιγότερο από θέμα για τις επιχειρήσεις που έχουν ήδη ανάπτυξη οπτικών ινών και ιδιαίτερα για τις επιχειρήσεις που έχουν το δικό τους οπτικό δίκτυο. Αν και το κόστος της οπτικής ίνας που χρησιμοποιεί CPRI/Ir/OBRI για υψηλή ταχύτητα ασύρματη μετάδοσης σήματος δεν χρειάζεται να αυξηθεί, το κόστος της οπτικής μονάδας υψηλής ταχύτητας ή το κόστος οπτικού εξοπλισμού μεταφοράς πρέπει να συγκριθούν με του παραδοσιακούς SDH/PTN εξοπλισμούς μεταφοράς, προκειμένου να καταστεί η αρχιτεκτονική C-RAN πιο ελκυστική στα μέτωπα CAPEX και OPEX. Ως εκ τούτου, το πώς μπορεί να επιτευχθεί μια χαμηλού κόστους, υψηλού εύρους ζώνης και χαμηλής λανθάνουσας κατάστασης ασύρματη μετάδοση σήματος μέσω οπτικών ινών θα γίνει μια βασική πρόκληση για την υλοποίηση του μελλοντικού LTE και του δίκτυο ανάπτυξης C-RAN.

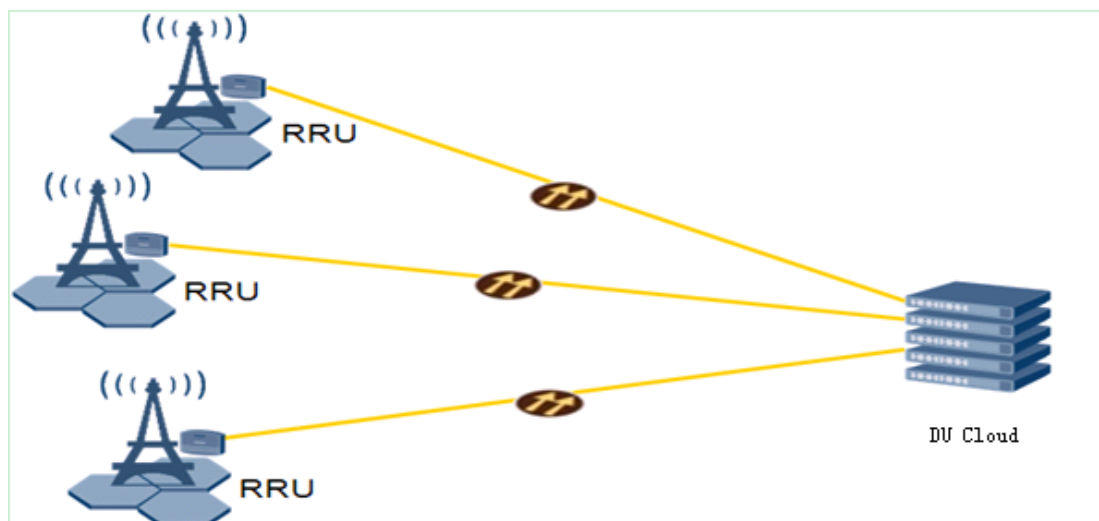
4.3.2.5 Fronthaul λύσεις για δίκτυο C-RAN

Προκειμένου να επιτευχθεί η μετάδοση υψηλού εύρους ζώνης μεταξύ RRH και BBU, οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικές λύσεις με βάση τους τρέχοντες πόρους του δικτύου μεταφοράς. Στη συνέχεια, προτείνονται διαφορετικές λύσεις δικτύου fronthaul λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικά σενάρια.

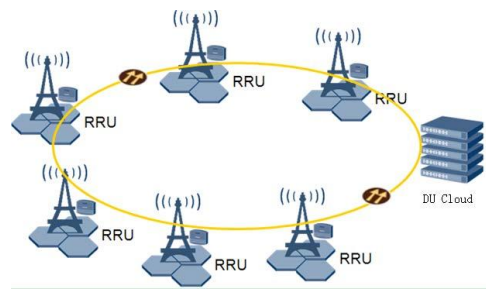
- AREA WITH PLENTY DARK FIBER RESOURCE

Εάν η ίνα δεν περιορίζεται, η τοπολογία αστέρα συνιστάται για C-RAN μετάδοση όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9. Η τοπολογία αστέρα θα μπορούσε να βελτιώσει την αξιοπιστία για μετάδοση. Αυτή η τοπολογία είναι κατάλληλη τόσο για single-RAT cloud και multi-RAT cloud σε απεριόριστη έκταση.

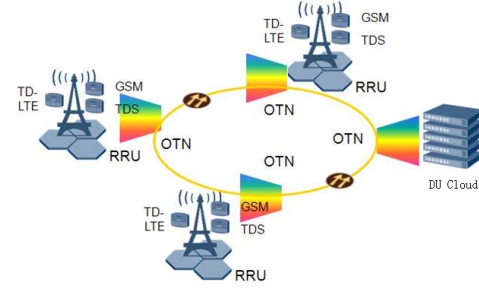
Τα οφέλη αυτής της λύσης είναι: ταχεία ανάπτυξη και χαμηλό κόστος, επειδή δεν απαιτείται πρόσθετος εξοπλισμός οπτικού δικτύου μεταφορών. Οι ενδεχόμενα μειονεκτήματα της λύσης αυτής είναι: καταναλώνει πληθος οπτικών ινών, με αποτέλεσμα η επεκτασιμότητα του δικτύου να είναι μια πρόκληση και να απαιτούνται νέοι μηχανισμοί προστασίας στην περίπτωση αποτυχίας των οπτικών ινών. Ωστόσο, υπάρχουν εφικτές λύσεις για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Για την τους πόρους των ινών, εάν υπάρχει ήδη διαθέσιμη μια διαδρομή καναλιού, είναι αρκετά φθηνό για να προστεθεί νέα ίνα ή να γίνει αναβάθμιση των υφισταμένων ινών. Για την αντιμετώπιση της αποτυχίας των ινών, υπάρχουν συμβατά με CPRI/Ir/OBRI προϊόντα που διατίθενται σήμερα ότι έχουν τη δυνατότητα δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας. Αν αναπτυχθεί με φυσική τοπολογία δακτυλίου που παρέχει εναλλακτική διαδρομή οπτικών ινών, θα είναι σε θέση να παρέχεται παρόμοια δυνατότητα δυνατότητα όπως SDH / PTN.



Εικόνα 4.9: Fronthaul τοπολογία αστέρα με πολλαπλές πηγές dark fiber



(α) Τοπολογία δακτυλίου για single-RAT



(β) Τοπολογία δακτυλίου για WDM

Εικόνα 4.10: Λύσεις fronthaul για περιοχές με περιορισμένες πηγές dark fiber.

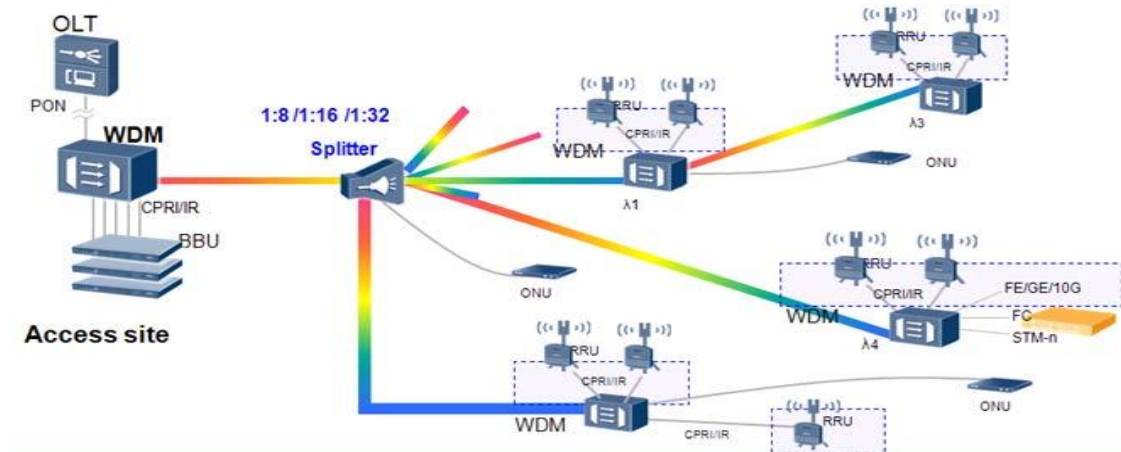
- AREA WITH AVAILABLE BUT LIMITED FIBER RESOURCE

Η δεύτερη λύση είναι η λύση WDM/OTN. Είναι κατάλληλη για συστήματα Macro κυψελοειδών σταθμών βάσης, όταν υπάρχουν περιορισμένοι πόροι ινών, ιδίως όταν η ίνα στο δακτύλιο πρόσβασης είναι πολύ περιορισμένη, ή όταν η προσθήκη νέων ινών σε υφιστάμενη διαδρομή είναι πάρα πολύ δύσκολη ή το κόστος της είναι πολύ υψηλό. Με την αναβάθμιση της μετάδοσης στα δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών σε WDM / OTN, το εύρος ζώνης μεταφοράς διασύνδεσης CPRI/Ir/OBRI σε έναν BBU-RRH σύνδεσμο είναι σε μεγάλο βαθμό βελτιωμένο. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να μειώσει τη ζήτηση σε dark fiber. Ωστόσο, η αναβάθμιση των υφιστάμενων δακτυλίων πρόσβαση σε WDM/OTN δίκτυο σημαίνει υψηλότερο κόστος. Από την άλλη πλευρά, επειδή η μεταφορά δικτύου πρόσβασης γίνεται συνήθως εντός λίγων δεκάδων χιλιομέτρων, ο εξοπλισμός WDM/OTN μπορεί είναι πολύ φθηνότερος από ό, τι εκείνοι που χρησιμοποιούνται σε μεγάλα δίκτυα κορμού.

- AREA WITH LIMITED RENTAL DARK FIBER RESOURCE

Η τεχνολογία Coarse Wavelength-division multiplexing (CWDM) συνδυάζει το σταθερό ευρυζωνικό και το δίκτυο κινητής πρόσβασης ταυτόχρονα για εσωτερική κάλυψη με παθητική οπτική τεχνολογία, που ονομάστηκε έτσι ως «Unified PON». Μπορεί να προσφέρει τόσο Passive Optical Network (PON) υπηρεσίες και CPRI/Ir/OBRI μετάδοση στην ίδια ίνα. Σε αυτή τη λύση, μια οπτική ίνα μπορεί να υποστηρίξει περισσότερα από 14 διαφορετικά μήκη κύματος. Στο πρότυπο UniPON, η ανερχόμενη ζεύξη και το κανάλι κατερχόμενης ζεύξης μεταδίδονται σε δύο μήκη κύματος, και έτσι τα άλλα ελεύθερα μήκη κύματος μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση δεδομένων CPRI/Ir/OBRI μεταξύ του BBU και RRH. Λόγω της κατανομής των πόρων στην οπτική ίνα, μπορεί να μειωθεί το συνολικό κόστος. Είναι κατάλληλο για την ανάπτυξη της τεχνολογίας C-RAN baseband pool για κάλυψη του εσωτερικού χώρου.

Για αυτό το σενάριο, υπάρχουν δύο υπο-σενάρια: Σενάριο 1 : ένα ζευγάρι ινών για κάθε RRH, Σενάριο δύο: κάθε περιοχή έχει μόνο μήκος κύματος ενοικίασης. Για το σενάριο 1 , συνιστάται η OTN λύση δακτυλίου.



Εικόνα 4.11: Αρχιτεκτονική UniPON ως fronthaul λύση για περιοχή με περιορισμό στην εννοκίαση dark fiber.

4.3.3 Cloud πραγματικού χρόνου για κεντρική επεξεργασία

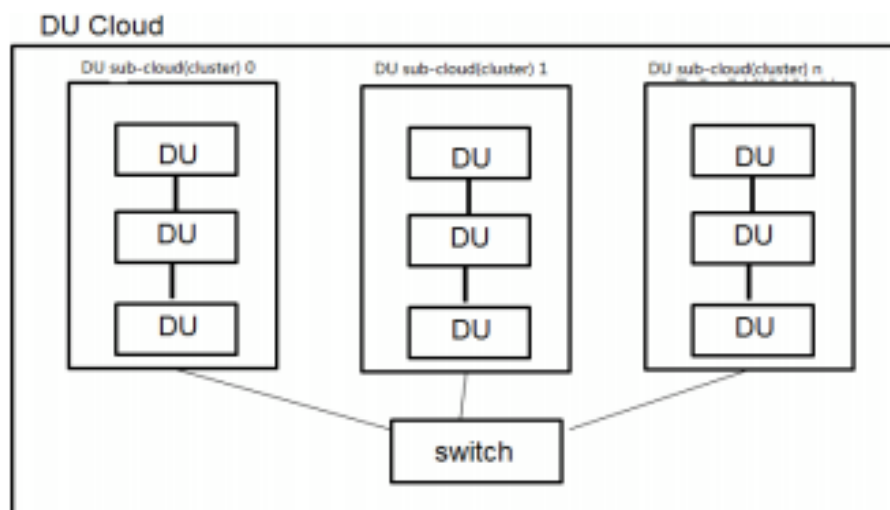
Το τρίτο μέρος της αρχιτεκτονικής C-RAN είναι κεντρικό cloud για επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο των σημάτων και πρωτοκόλλων. Το Cloud θα πρέπει να έχει ένα στοιχείο, σκοπός του οποίου θα είναι ο προγραμματισμός των εισερχόμενων σημάτων από διαφορετικές τοποθεσίες κυψελών σε VBS οντότητες μέσα σε VBS pool ώστε να εξασφαλιστεί η βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων. Με άλλα λόγια, δεν θα υπάρχει σταθερή εξάρτηση από μία RRH οντότητα σε μία ακριβή οντότητα BBU (που ονομάζεται VBS σε πλαίσιο του cloud). Σύμφωνα με την σημερινή κατάσταση στο σύστημα, σήματα από διαφορετικά RRHs θα ανατίθενται δυναμικά σε διαφορετικές VBS οντότητες. Αυτή η συσκευή εναλλαγής πρέπει να έχει αξιόπιστο και σε πραγματικό χρόνο αλγόριθμο προγραμματισμού. Με αυτό τον τρόπο, το ασύρματο cloud θα έχει τη δυνατότητα της κατανομής των πόρων που είναι μία από τις βασικές ιδιότητες του IT cloud. Μια άλλη σημαντική έννοια που θα υιοθετηθεί από το IT cloud θα είναι η εικονικοποίηση πόρων που υποδεικνύεται από εικονικό σταθμό βάσης. Σύμφωνα με το virtualization, η αφαίρεση των υπολογιστικών πόρων, που αποκρύπτει συγκεκριμένα προγράμματα υλοποίησης από τις λειτουργίες ενός σταθμού βάσης, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ανεξαρτησία μεταξύ πομπού και δέκτη στο τέλος του RAN. Το κλειδί για την εφαρμογή VBS είναι η αντικατάσταση ιδιόκτητων πλατφορμών υλικού που είναι βάση για τη σημερινή σταθμούς βάσης, με προγραμματιζόμενο υλικό ευρέως σκοπού δηλαδή SDR. Σύμφωνα με το SDR, σύστημα ραδιοεπικοινωνίας οι αρμοδιότητες του οποίου υλοποιούνται από το λογισμικό που τρέχει στους επεξεργαστές γενικού σκοπού επεξεργαστές-GPP (General Purpose Processors). Το SDR θα πρέπει να παρέχει διαμόρφωση/ αποδιαμόρφωση, κωδικοποίηση καναλιού/ αποκωδικοποίηση καναλιού. Χρησιμοποιώντας την παράλληλη επεξεργασία πολλαπλών πυρήνων μαζί με ειδικά σχεδιασμένους επιταχυντές υλικού είναι απαραίτητα προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποδοτική επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο.

4.3.3.1 Ιεραρχική αρχιτεκτονική DU Cloud

Από άποψη εφαρμογής, η DU είναι η βασική φυσική μονάδα υπολογισμού για εργασίες. Με την αύξηση του μεγέθους του C-RAN DU Cloud, γίνεται δύσκολο να αλλάξουν αυθαίρετα τα

δεδομένα της κεραίας δεδομένα από RRH σε οποιοδήποτε DU. Για την από κοινού επεξεργασία το απαιτούμενο εύρος ζώνης για την επικοινωνία εντός του κόμβου γίνεται πολύ υψηλότερο. Εν τω μεταξύ, όταν το μέγεθος του C-RAN φθάνει σε ένα ορισμένο επίπεδο (π.χ. πάνω από 30 τομείς), η κατανομή των πόρων κέρδους μπορεί να γίνει επίπεδη ή περιθωριακή. Ως εκ τούτου, δεν είναι οικονομικό να σχεδιαστεί ένα υψηλής ταχύτητας πλήρως συνδεδεμένο DU Cloud. Προκειμένου να εξισορροπήσει την επεκτασιμότητα και την ευελιξία, το DU sub-cloud (cluster) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια ιεραρχικό σχεδιασμό για DU cloud. Η ιεραρχική αρχιτεκτονική θα μπορούσε να εισαχθεί με DU sub-cloud(cluster), όπως φαίνεται στο σχήμα 4.12.

Μέσα στο DU sub-cloud(cluster), το εύρος ζώνης θα μπορούσε να είναι πολύ υψηλότερο από ό,τι η σύνδεση μεταξύ DU συμπλέγματος.



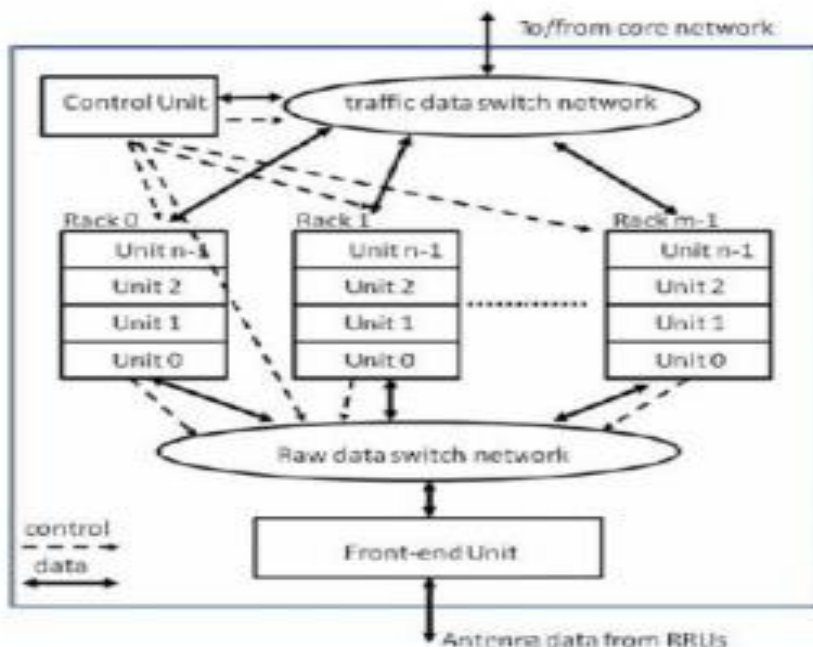
Εικόνα 4.12: Αρχιτεκτονική του DU cloud

4.3.3.2 Αρχιτεκτονική του GPP based, scalable, large scale C-RAN BBU pool

Στο τομέα της πληροφορικής, το general purpose processing (GPP, e.g x86) με βάση το cloud computing είναι πολύ επιτυχημένη μέθοδος για την κεντρική υπολογιστική και την εξοικονόμηση κόστους/ενέργειας. Στην πραγματικότητα, το C-RAN είναι ένα είδος συγκεκριμένης τεχνολογίας cloud computing, και μπορεί να επωφεληθεί από την ωριμότητα της τεχνολογίας της τεχνολογίας cloud. Η συγχώνευση της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών συμβαίνει σε πολλούς τομείς. Η "ITlization», θα μπορούσε να έχει πολλά οφέλη, για παράδειγμα, η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών θα μπορούσε να σταθεί στον ώμο του κλάδου της πληροφορικής με την υιοθέτηση κοινών τεχνολογιών IT έτσι ώστε να μειωθεί κατά πολύ το κόστος και να υπάρξει αποφυγή των κινδύνων.

Με την εξέλιξη, η δύναμη επεξεργασίας των GPP γίνεται ικανή για εντατική ασύρματη επεξεργασία σήματος, και επίσης θα μπορούσε να είναι μια ισχυρή λύση από διάφορους παράγοντες.

- Η εξέλιξη του πυριτίου και της μικρο-αρχιτεκτονικής, για παράδειγμα για τον tick-tock οδικό χάρτη της Intel: Ivy bridge → Haswell → Broadwell → Skylake. Με κάθε βήμα, η πυκνότητα επεξεργασίας και η ενεργειακή απόδοση θα μπορούσε προφανώς να βελτιωθεί.
- Η Single instruction, multiple data (SIMD) and multi-core parallel computing, current IA 128bit/256bits SSE/AVX SIMD εντολή μαζί με multi-core παρέχουν ισχυρή ικανότητα για επεξεργασία σήματος SDR. Επίσης η ισχυρή τεχνολογία cache (τρία επίπεδα cache, L1, L2 και L3), και το αρκετά μεγάλο μέγεθος της μνήμης cache (π.χ. συνολική cache 24MB σε έκδοση server) μπορούν να μεταφράσουν κάποιο πολύπλοκο ασύρματο αλγόριθμο σε απλό προσέγγιση look-up πίνακα.
- Η λύση all in one, GPP x86 δείχνει αρκετά ελκυστική απόδοση για επεξεργασία πακέτων, και για επεξεργασία L2/L3. Μαζί με επεξεργασία σήματος στο L1, το GPP θα μπορούσε να είναι μια καθολική λύση για κάθε εργασία στο C-RAN. Το "all in one" ικανοποιεί τις απαιτήσεις για καταμερισμό και ενοποίηση των πηγών.

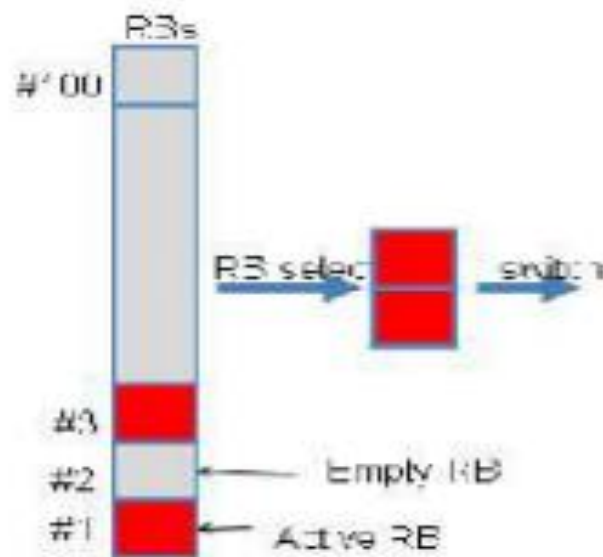


Εικόνα 4.13: Αρχιτεκτονική του GPP Based BBU Pool.

• Η ευελιξία είναι μία από τις σημαντικότερες δυνάμεις του GPP για το C-RAN, η οποία μπορεί να επωφεληθεί από/προς την διακύμανση του κυκλοφοριακού φορτίου. Εν τω μεταξύ ο εξελιγμένος αλγόριθμος κοινής επεξεργασίας (Comp, eICIC) απαιτεί επίσης ευέλικτη αρχιτεκτονική για την υποστήριξη.

Όπως δείχνει το σχήμα 4.13, η προτεινόμενη GPP με βάση την αρχιτεκτονική BBU pool αποτελείται κυρίως από διάφορα βασικά στοιχεία:

1. *Front-end συσκευή.*
2. *BBU processing pool με δομή συμπλέγματος.*
3. *Μονάδα ελέγχου.*
4. *Raw data switch network.*
5. *Traffic data switch network.*



Εικόνα 4.14: Εικόνα της εξαγωγής / εισαγωγής RB

•FRONT END Συσκευή

Front-end συσκευή είναι η διασύνδεση των RRH. Αποτελείται από λειτουργίες προεπεξεργασίας, που περιλαμβάνουν σταθερές λειτουργίες κυττάρων, το LTE για παράδειγμα (FFT / IFFT, Physical Random Access Channel (PRACH)).

Οι σταθερές λειτουργίες after cell, όπως για παράδειγμα το radio resource block θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για μελλοντική BBU επεξεργασία, και το αχρησιμοποίητο

radio resource block θα μπορούσε να απορριφθεί. Παράδειγμα που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.14.

Περαιτέρω, η συμπίεση μετά την εκχύλιση RB μπορεί να εφαρμοστεί για την περαιτέρω μείωση του εύρους ζώνης στο switch του δικτύου. Η συμπίεση είναι στο πεδίο της συχνότητας η οποία είναι διαφορετική από την συμπίεση πεδίο του χρόνου CPRI. Η προεπεξεργασία έχει πολλά οφέλη που αναφέρονται παρακάτω:

1. Μειώνονται σημαντικά οι απαιτήσεις για εύρος ζώνης μετά την επεξεργασία. Χωρίς την προεπεξεργασία, τα δεδομένα για 20MHz, απαιτούν ένα σύστημα με 8 κεραιές και είναι περίπου 8Gbps ανά φορέα. Αν πολλοί φορείς χρησιμοποιούν για μεταποίηση ένα διακομιστή, το I/O είναι το σημείο κυκλοφοριακής συμφόρησης.
2. Η εκφόρτωση του βασικού σταθερού υπολογισμού (FFT / IFFT) σε μια ειδική συσκευή, η οποία μπορεί να εξοικονομήσει πολλά CPUs των πόρων και να υπάρξει μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας.
3. Αυτό το είδος της επεξεργασίας μπορεί να διευκολύνει κοινού επεξεργασία (π.χ. CoMP). Για παράδειγμα, ο χρήστης RB rf από διαφορετικούς φορείς μπορεί να κάνει αλλαγή σε ένα συγκεκριμένο εξυπηρετητή στην κοινή επεξεργασία, έτσι ώστε να αποφευχθεί η κίνηση δεδομένων μεταξύ των server, και να κάνει το CoMP ευκολότερο να εφαρμοστεί.
4. Με την εισαγωγή της συσκευής προ-επεξεργασίας, τα άλλα συστατικά του BBU pool θα μπορούσαν να είναι πρότυπες συσκευές πληροφορικής (server, switch κλπ).

Προκειμένου να επιτευχθεί η αξιοπιστία, απαιτείται ένα διπλό front-end μαζί με επικάλυψη ινών RRU-BBU. Εν τω μεταξύ, λειτουργίες προ-επεξεργασίας (ή μέρος αυτών) μπορούν να εφαρμοστούν σε RRH ώστε να μειωθεί η επιβάρυνση του δικτύου μεταφοράς. Για διαφορετικά πρότυπα, οι λειτουργίες προ-επεξεργασίας θα μπορούσαν να είναι διαφορετικές [4].

•BBU PROCESSING POOL

Το BBU processing pool αποτελείται από clusters (ράφια) των servers. Κάθε server μπορεί να είναι εξοπλισμένος με πολλαπλές CPU (πολλαπλούς πυρήνες ανά επεξεργαστή). Από άποψη εφαρμογής, ο server είναι η βασική φυσική μονάδα υπολογισμού για εργασίες. Προκειμένου να εξισορροπήσει την επεκτασιμότητα και ευελιξία, το cluster εισάγεται για να κάνει το BBU pool ιεραρχικό.

Με την αύξηση του μεγέθους του C-RAN DU Cloud, γίνεται δύσκολο να γίνει μετατροπή από ανεπεξέργαστα δεδομένα αυθαίρετων RRH σε οποιονδήποτε server, και με την από κοινού επεξεργασία, το απαιτούμενο εύρος ζώνης για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων γίνεται πολύ υψηλότερο.

Εν τω μεταξύ, όταν το μέγεθος του C-RAN φθάνει σε ένα ορισμένο επίπεδο, το κέρδος θα είναι μηδενικό ή οριακό (π.χ. 30 sectors).

Έτσι, δεν είναι οικονομικό να σχεδιαστεί ένας υψηλής ταχύτητας σύνδεσης cloud server.

Η Ιεραρχική αρχιτεκτονική είναι μία καλή λύση για να ξεπεραστεί το πρόβλημα και να παραχθεί επεκτάσιμη αρχιτεκτονική BBU pool.

Μέσα στο cluster το εύρος ζώνης θα μπορούσε να είναι πολύ υψηλότερο από ό, τι αυτό της σύνδεσης μεταξύ των clusters. Έτσι, για JP επεξεργασία, προτιμάται intra cluster JP.

Με την αύξηση του μεγέθους του cloud, οι επιχειρήσεις μπορούν να εγκαταστήσουν περισσότερα clusters ή να αναβαθμίσουν τα clusters.

• Μονάδα ελέγχου

Μονάδα ελέγχου και διαχείρισης είναι ο εγκέφαλος του συστήματος C-RAN. Σε εφαρμογή, η μονάδα λειτουργεί με ένα συγκεκριμένο DU. Αποτελείται από 3 βασικές ενότητες, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.15 [4].

- Radio O&M: Το O&M, παρακολουθεί και αναφέρει την κατάσταση και τις επιδόσεις του radio δικτύου, σε καταστάσεις όπως η αξιοποίηση των πόρων κ.λπ. Επίσης, εκδίδει εντολή διαχείρισης για τον έλεγχο της λογικής μεταξύ cells και sectors.

- Η συσκευή O & M: Η μονάδα αυτή επιβλέπει και αναφέρει την κατάσταση και την απόδοση των φυσικών συσκευών στο σύστημα C-RAN, συμπεριλαμβανομένων όλων των συσκευών στο RRH, του δικτύου οπτικών ινών και του BBU pool. Για παράδειγμα, η μονάδα μπορεί να παρακολουθεί το φορτίο της κάθε DU Επίσης, ελέγχει το switch ή την αποτυχία ανάκτησης του συστήματος.

- Έλεγχος των πόρων και της «μετανάστευσης»: Η ενότητα ελέγχει τον υπολογισμό των πόρων κατανομής και μετανάστευσης εργασιών. Για την κατανομή των πόρων, κατανέμει τις εργασίες / φορτίο σε ένα συγκεκριμένο server. Η κατανομή του φορτίου είναι το κλειδί έτσι ώστε η C-RAN να εδραιώσει μερίδιο των πόρων επεξεργασίας που παρέχονται από φυσικούς servers. Η μεταφορά του φορτίου είναι επίσης το κλειδί για την αυτόματη ανάκτηση αποτυχίας σε επίπεδο συστήματος.

- Μεταφορά του φορτίου: Αποφασίζει πότε και πώς θα μεταφερθεί το φορτίο ή η εργασία σε άλλους servers ή clusters. Η μεταφορά θα πρέπει να είναι ομαλή, πράγμα που σημαίνει ότι δεν θα διακοπεί η λειτουργία του συστήματος. Στη μεταφορά φορτίου, η διακριτικότητα των καθηκόντων είναι σημαντική για το σχεδιασμό, και τα GPP παρέχουν την ευελιξία να σχεδιάσουν πολύ ευέλικτο σύστημα αποτελεσματικής κατανομής των πόρων. Για παράδειγμα, η

διακριτότητα θα μπορούσε να είναι σε επίπεδο φορέα ή σε επίπεδο χρήστη ή σε μικτό επίπεδο. Όσο μικρότερη διακριτότητα, τόσο καλύτερη είναι η αξιοποίηση της CPU αξιοποίηση, αλλά είναι μεγαλύτερη.



Εικόνα 4.15: Λειτουργία της μονάδας ελέγχου

- Raw data switch network: Το δίκτυο συνδέει το front-end και τη μονάδα επεξεργασίας, και το δίκτυο θα μπορούσε να είναι 10GE ή άλλο εξίσου ικανό δίκτυο. Η απαίτηση είναι να υπάρχει χαμηλό latency και υψηλή διακίνηση.
- Traffic data switch network: Το δίκτυο συνδέει το core δίκτυο με το BBU pool έτσι ώστε να μεταφέρει βασικά στοιχεία της διεπαφής του δικτύου και της κυκλοφορίας.

4.3.3.3 Εικονικοποίηση σταθμών βάσης που βασίζονται στην ανοιχτή πλατφόρμα.

Σήμερα, οι περισσότεροι μεγάλοι φορείς κινητής τηλεφωνίας στον κόσμο, πρέπει να λειτουργούν με πολλαπλά πρότυπα ταυτόχρονα. Είναι μια φυσική επιλογή να χρησιμοποιήσουν σταθμούς βάσης multi-mode για λειτουργία με χαμηλό κόστος. Ως εκ τούτου, το SDR που βασίζεται σε μια κοινή πλατφόρμα για την υποστήριξη πολλαπλών προτύπων έχει γίνει η επικρατούσα τάση στα προϊόντα TEM. Τα ακόλουθα είναι οι δύο τύποι των σταθμών βάσης multi-mode.

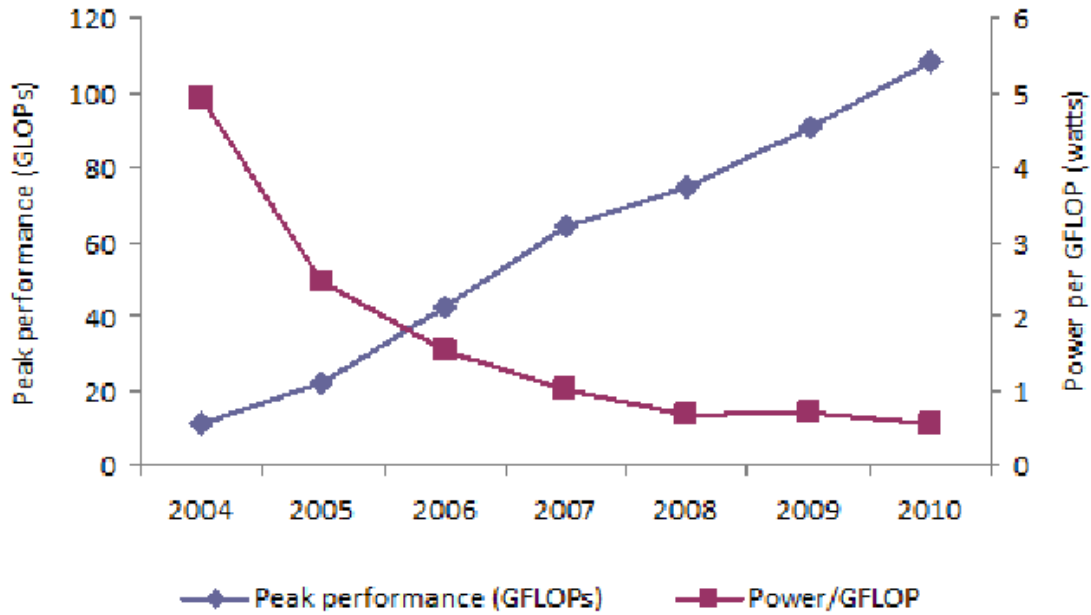
- *Ενιαία BBU πλατφόρμα του συστήματος υποστήριξης multi-mode, συνδέοντας σε διαφορετικά πίνακες επεξεργασίας. Ο πίνακας επεξεργασίας που υποστηρίζει πολλαπλά πρότυπα (όπως GSM, TD-SCDMA, TD-LTE) έχει ένα ενοποιημένο περιβάλλον εργασίας και μπορεί να συνδεθεί με την ίδια πλατφόρμα του συστήματος BBU. Ωστόσο, η δομή αυτή δεν μπορεί να μοιραστεί πόρους επεξεργασίας μεταξύ των διαφόρων πινάκων επεξεργασίας και συνήθως χρειάζεται να αντικατασταθούν ή να προστεθούν νέα υλικά στην πλακέτα επεξεργασίας.*
- *Ενιαία πλατφόρμα συστήματος BBU και ενοποιημένη πλατφόρμα υλικού πλακέτας επεξεργασίας. Υποστηρίζει μέσω πολλαπλών τρόπων την επαναδημιουργία του λογισμικού. Αυτή η λύση επιτρέπει στο Σταθμό βάσης την αναβάθμιση σε νέο πρότυπο χωρίς να αλλάξει το*

υλικό. Ωστόσο, τα τρέχοντα προϊόντα συνήθως απαιτούν την επανεκκίνηση του BBU προκειμένου να γίνει λήψη του νέου λογισμικό DSP / FPGA για αναβάθμιση προτύπων. Αυτό αποτρέπει τη δυναμική Κατανομή πόρων σύμφωνα με το φορτίο κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο χωρίς διακοπή των υπηρεσιών.

Με βάση το νόμο του Moore στη βιομηχανία ημιαγωγών, DSP και GPP έχουν κάνει μεγάλη πρόοδο στην αρχιτεκτονική κατανάλωσης και τις επιδόσεις τελευταία χρόνια. Από την άλλη πλευρά, τα DSP από διαφορετικούς κατασκευαστές και ακόμη και από τον ίδιο κατασκευαστή δεν μπορούν να εγγυηθούν την προς τα πίσω συμβατότητα. Τα πραγματικού χρόνου λειτουργικά συστήματα είναι διαφορετικά μεταξύ τους, και δεν υπάρχει σταθερό πρότυπο ακόμη. Γενικά τα BBUs βασίζονται στην πλατφόρμα DSP που είναι ιδιόκτητες πλατφόρμες. Και για αυτό είναι εξακολουθεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί η ομαλή αναβάθμιση και εικονικοποίηση των πόρων.

Εν τω μεταξύ, τα GPP έχουν προχωρήσει γρήγορα, και είναι πλέον σε θέση να επεξεργάζονται επαρκώς τα ασύρματα σήματα. Ως εκ τούτου, ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών έχει πλέον περισσότερα επιλογές για το SDR (software defined radio). Το πλεονέκτημα του GPP είναι ότι έχουν μια μακρά συμβατότητα προς τα πίσω, εξασφαλίζοντας ότι το λογισμικό μπορεί να τρέξει σε κάθε νέα γενιά του επεξεργαστή χωρίς καμία αλλαγή, και αυτό είναι ευεργετικό για την ομαλή αναβάθμιση του BBU. Από την πλευρά του λειτουργικού συστήματος, υπάρχουν πολλαπλές OSs διαθέσιμες για τα GPP που έχουν την ικανότητα σε πραγματικό χρόνο, και επιτρέπουν επίσης την εικονικοποίηση της BS επεξεργασίας σήματος βασικής ζώνης.

Η τεχνική πρόοδος στο DSP και GPP έχει δείξει πιο ισχυρή επεξεργασία σήματος με λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Αυτή η πρόοδος έκανε το SDR να βασίζεται λύσεις πιο ελκυστικές. Παραδοσιακά DSP έχει γίνει πλέον η ώριμη λύση για αυτά τα προϊόντα, και θα συνεχίσει να εξελίσσεται. Η προηγμένη έρευνα σχετικά με την επεξεργασία ασύρματου σήματος για τις GPP έχει δώσει περισσότερες επιλογές για το σταθμό βάσης, και έχει τη δυνατότητα να γίνει μέρος της μελλοντικής ανοιχτή, ενοποιημένη πλατφόρμα BS multi-mode.



Εικόνα 4.16: Υπολογισμός την εξέλιξη της απόδοσης των GPP

4.3.4 Αναπτυξιακή Πορεία

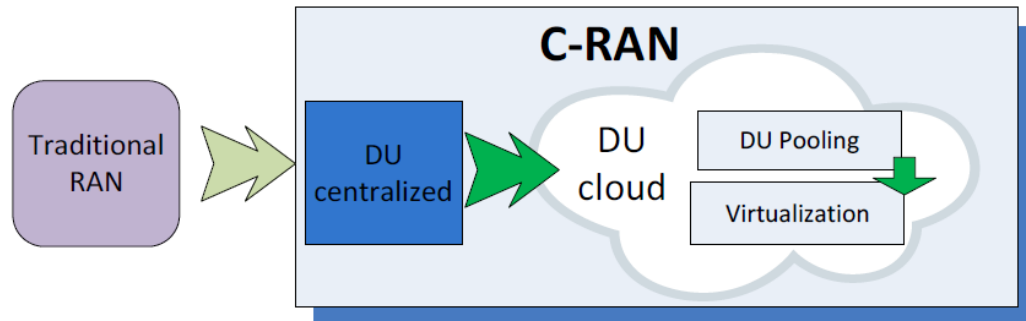
Η νέα αρχιτεκτονική C-RAN είναι μια επανάσταση της παραδοσιακής ανάπτυξης RAN. Είναι αδύνατο να αντικαταστήσει το σημερινό RAN τη διάρκεια της νύχτας. Επιπλέον, οι τεχνικές προκλήσεις της C-RAN πρέπει να αναπτυχθούν προσεκτικά και να δοκιμαστούν σε εργαστήρια και field περιβάλλοντα για να εξασφαλισθεί η αξιοπιστία τους. Αυτό φυσικά οδηγεί σε μια εξέλιξη βήμα-βήμα στο μονοπάτι του C-RAN ώστε να αντικαταστήσουν σταδιακά τις παραδοσιακές RAN.

Τα παραδοσιακά RAN μπορεί ομαλά εξελιχθου σε C-RAN από τρεις φάσεις : 1) DU centralization ,2) DU pooling και 3) Virtual RAN (Vran). Η συγκέντρωση και εικονικοποίηση του DU/DU cloud μπορεί να θεωρηθούν ως δύο διαφορετικές φάσεις της DU cloud .

Το DU centralization είναι το πρώτο βήμα μέσα από τη συλλογή του ψηφιακού μέρους του RAN σε μια ενιαία θέση. Τα RF μέρη συνδέονται με το RAN, χρησιμοποιώντας συνδέσμους υψηλής ταχύτητας και χαμηλού latency.

Το DU pooling είναι το δεύτερο βήμα εξέλιξης. Παρέχει τη δυνατότητα εξισορρόπησης φορτίου μεταξύ των DU και της οικονομικής απώλειας για προστασία από την αποτυχία της DU. Οι πόροι DU δεν διαστασιοποιούνται πλέον από τις απαιτήσεις αιχμής κάθε site αλλά από τις συγκεντρωτικές απαιτήσεις των κυττάρων που καλύπτονται από το pool. Η διαστασιολόγηση του DU pool εκμεταλλεύεται την κατανομή χρόνου και χώρου της κυκλοφορίας. Τα κύρια πλεονεκτήματα της συγκέντρωσης είναι στο CAPEX, η βελτιωμένη δυνατότητα κλιμάκωσης και η

αποτυχία Μηχανισμούς. Το DU pooling περιλαμβάνει χαρακτηριστικά LTE-A για βελτιωμένη φασματική απόδοση και κάλυψη, όπως Comp και ICIC.



Εικόνα 4.17: Η εξέλιξη του C-RAN

Το Vran είναι το τελικό βήμα εξέλιξης όπου οι πόροι επεξεργασίας εικονικοποιούνται. Ωστόσο, τα κύρια χαρακτηριστικά του Vran είναι η χρήση των τυποποιημένων τεχνολογιών για οικονομία κλίμακας και μείωση του κόστους. Μια άλλη πτυχή είναι να γίνουν οι εφαρμογές ανεξάρτητες του υλικού. Το Vran προσφέρει επίσης τη δυνατότητα ενισχυμένης επεκτασιμότητας, ευκολότερης εξέλιξης, όπως επίσης και άνοιγμα σε πολλούς παράγοντες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Αλγόριθμος κατανομής BBU σε RRH για το C-RAN

Τα cloud radio access networks έχουν προταθεί ως ένα αποτελεσματικό μέσο για την αξιοποίηση των οφελών της ικανότητας των μικρών κυττάρων με μειωμένο κεφάλαιο και λειτουργικές δαπάνες. Με τις μονάδες βασικής ζώνης να έχουν διαχωριστεί από τις μονάδες radio access και να έχουν μεταφερθεί στο cloud για την κεντρική επεξεργασία, το backhaul μεταξύ BBUs και RRHs αποτελεί βασικό στοιχείο κάθε C-RAN. Η χαρτογράφηση των BBUs σε RRHs ένα προς ένα είναι εξαιρετικά υποβέλτιστη, έτσι καλώντας για μια λειτουργική αποσύνδεση του BBU pool από το RRH. Επιπλέον, το C-RAN μπορεί να αναμένεται να μειώσει περαιτέρω το κόστος για τις λειτουργίες συγκέντρωσης BBU στην οποία η κεντρική πόροι BBU μπορεί να διατίθενται δυναμικά για RRHs ανάλογα με το φορτίο της κυκλοφορίας. Περαιτέρω, στη backhaul αρχιτεκτονική πρέπει να γίνει εκ νέου ρύθμιση για να καταστεί δυνατή η αντιστοίχιση μεταξύ BBUs και RRHs και να είναι ευέλικτη και να αλλάξει δυναμικά, έτσι ώστε όχι μόνο να βελτιστοποιήσει τη RAN απόδοση αλλά κατανάλωσης αλλά και την ενέργεια στην BBU pool.

Ένα από τα πιο προφανή προβλήματα στα κινητά συστήματα σήμερα είναι η περίπτωση του πάνω διαστάσεων σταθμών βάσης, των οποίων οι ικανότητες καθορίζονται σύμφωνα με ρυθμό αιχμής δεδομένων. Δεδομένου ότι οι τελικοί χρήστες συνήθως κινούνται σε διαφορετικές περιοχές κυττάρων ένα μέρος του σταθμού βάσης μείνει αχρησιμοποίητο για σημαντικό διάστημα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στηριζόμενη σε τεχνικές εικονικοποίησης θα ήταν δυνατόν να επικεντρωθεί το φόρτο εργασίας σε ένα μικρότερο αριθμό servers κατά τη διάρκεια των ωρών μη αιχμής (Π.χ. τη νύχτα), έτσι ώστε όλοι οι άλλοι διακομιστές να μπορούν να απενεργοποιηθούν ή να τεθούν σε ένα λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας. Καλύτερο παράδειγμα για να γίνει αυτό κατανοητό είναι πόλεις με τις επιχειρήσεις και κατοικημένες περιοχές. Είναι συχνή η περίπτωση που οι σταθμοί βάσης σε επιχειρηματικές περιοχές έχουν βαρύ φορτίο κατά τη διάρκεια του χρόνου εργασίας, ενώ οι σταθμοί βάσης σε κατοικημένες περιοχές αυτές τις ώρες οι σταθμοί βάσης παραμένουν ως επί το πλείστον αχρησιμοποίητοι . Μετά τη δουλειά, όταν οι περισσότεροι άνθρωποι πηγαίνουν στο σπίτι, η κατάσταση είναι αντίστροφη και οι σταθμοί βάσης στις περιοχές με τις επιχειρήσεις έχουν πολύ χαμηλή χρήση.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι στην κλασική αρχιτεκτονική RAN κάθε σταθμός βάσης είναι υπεύθυνος μόνο για το κελί /κελιά του και δεν υπάρχει η δυνατότητα για την κατανομή των πόρων με άλλους σταθμούς βάσης, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι είναι αντιμέτωποι με μεγάλη σπατάλη των πόρων του δικτύου ασύρματης πρόσβασης. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η προσέγγιση της C-RAN στην εφαρμογή BBU ως μέρος των VBS οντοτήτων εντός ενός κεντρικού cloud , θα επιτρέψει στις εταιρείες να παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών να καλύπτουν τις ίδιες περιοχές με λιγότερες VBS οντότητες. Αυτό θα σημαίνει επίσης λιγότερη κατανάλωση ενέργειας σε εργασίες επεξεργασίας σήματος.

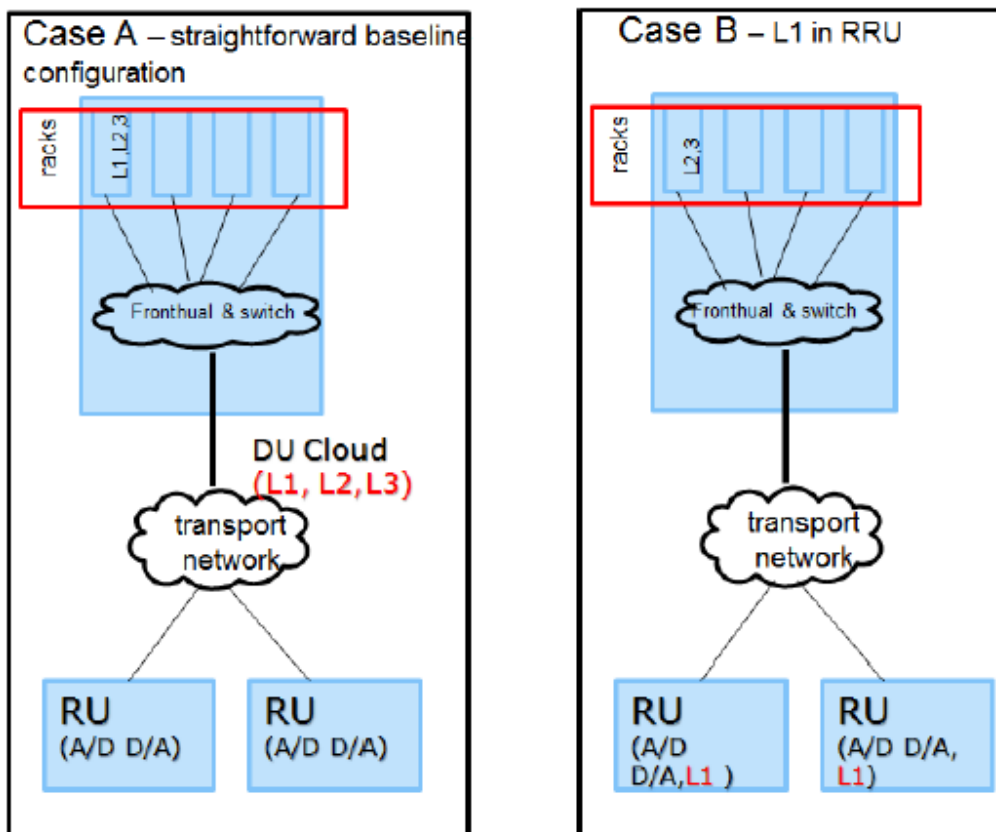
5.1 Η περίπτωση του Επανα-Διαμορφώσιμου Backhaul σε C-RAN

Ενώ η BBU pool εμμέσως έχει αποσυνδεθεί από τις RRHs από την άποψη της φυσικής συνδεσιμότητας σε ένα C-RAN, υπάρχει μία λογική χαρτογράφηση μεταξύ ενός BBU και ενεργό RRH. Ως εκ τούτου, σε ένα BBU θα ανατεθεί να δημιουργήσει ένα πλαίσιο LTE για ένα δεδομένο ενεργό RRH, αν και η χαρτογράφηση μπορεί να αλλάξει όλη την ώρα. Διαφωνούμε ότι μια τέτοια χαρτογράφηση είναι εξαιρετικά υπο-βέλτιστη για δύο λόγους:

- Η δημιουργία ενός ξεχωριστού radio σήματος για κάθε κελί είναι σημαντική για την ικανότητα του ενισχύοντας τεχνικές, όπως η δυναμική επαναχρησιμοποίηση συχνότητας ή συντονισμένη μετάδοση πολλαπλών σημείων (π.χ. δείγμα σε LTE). Ωστόσο, τα συστήματα αυτά ισχύουν μόνο για στατικούς χρήστες. Πράγματι, για χρήστες κινητής τηλεφωνίας, για τους οποίους επιτείνεται το πρόβλημα της μεταπομπής, ένα παραδοσιακά κατανομημένο σύστημα κεραιών (DAS) είναι πιο κατάλληλο. Σε DAS, το ίδιο σήμα μεταδίδεται σε πολλαπλά κελιά για να παρέχει αυξημένη κάλυψη και το κέρδος ποικιλομορφίας.

• Όταν το φορτίο κίνησης είναι αραιό σε μια δεδομένη περιοχή, μια ενιαία BBU μπορεί να διαχειριστεί το φορτίο πολλαπλών κυττάρων, εξυπηρετώντας τους μέσω ενός DAS. Κάθε φορά που υπάρχει μια ευκαιρία να χρησιμεύσουν για πολλούς κύτταρα μέσω ενός DAS, αυτό μειώνει τον αριθμό των BBUs και ως εκ τούτου η επεξεργασία (πυρήνες, DSPs, FPGAs) που απαιτείται για να διαχειριστεί ένα δεδομένο σύνολο RRHs, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας στο cloud.

Ωστόσο, επιτρέποντας στην C-RAN να ανταποκριθεί στους ετερογενείς χρήστες (στατική και κινητή) και τα προφίλ κίνησης, αξιοποιώντας επίσης την εξοικονόμηση ενέργειας, με τη σειρά της απαιτεί η backhaul να είναι αρκετά ευέλικτη για να υποστηρίξει λογική ένα προς ένα, καθώς και ένα προς πολλές αντιστοιχίσεις μεταξύ BBUs και RRHs. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, προτείνουμε ένα C-RAN σύστημα με ευέλικτη αρχιτεκτονική backhaul. Ενώ η φυσική οπτική backhaul παραμένει αμετάβλητη, η λογική συνδεσιμότητα μεταξύ BBUs και RRHs (που ονομάζεται επικάλυψη) γίνεται ευέλικτη (1-1, ένα-πολλά) και ρυθμίζεται εκ νέου για την προσαρμογή στο διαφορετικό προφίλ χρηστών και τις συνθήκες κυκλοφοριακού φορτίου.



Εικόνα 5.1: Ρύθμιση της λειτουργίας BBU-RRH

Υπάρχουν δύο επιλογές για τη διάσπαση της επεξεργασία BS μεταξύ BBU και RRH :

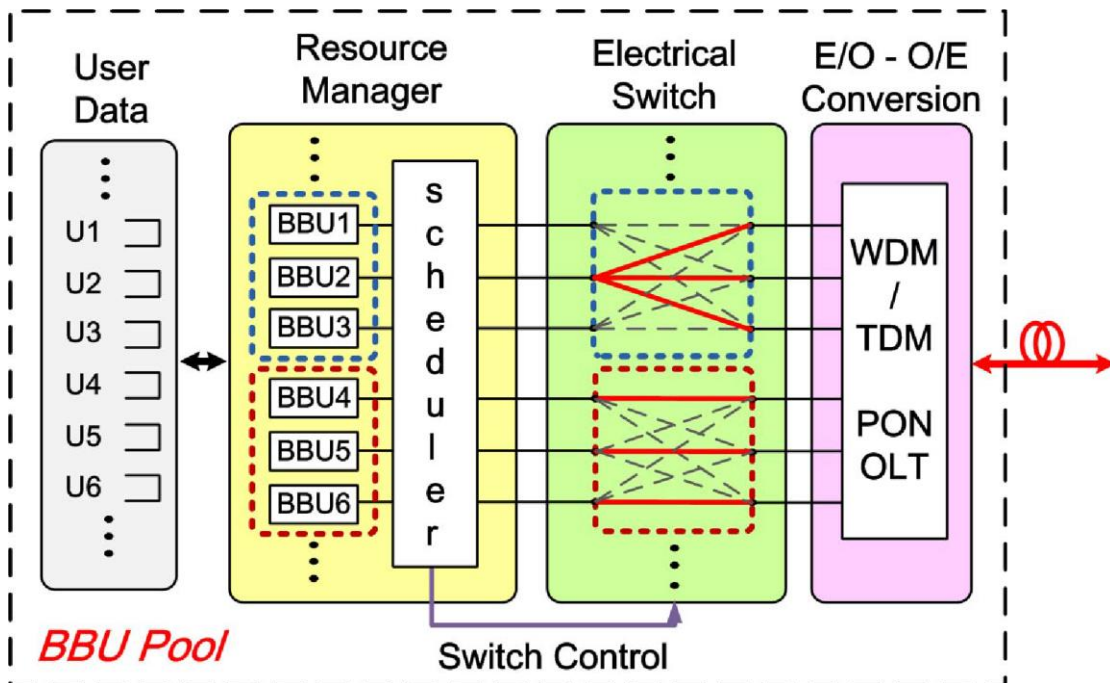
- Κεντρική - όπου όλη η επεξεργασία γίνεται μέχρι το στρώμα 1 (PHY) και συμβαίνει σε κάθε ένα από τα BBUs pool.
- Μερικώς κεντρική - όπου η επεξεργασία γίνεται μόνο μέχρι στρώμα 2 (MAC) που συμβαίνει κατά τη BBU, ενώ η επεξεργασία PHY ωθείται προς την RRH.

Ενώ η τελευταία επιλογή έχει ως στόχο να μειώσει την αυξημένη απαίτηση εύρους ζώνης στο backhaul, χρειάζεται μια ιδιόκτητη διεπαφή μεταξύ BBU και RRH ώστε να ορίζεται για τη μεταφορά των δεδομένων MAC στρώματος. Ως εκ τούτου, η πρώτη επιλογή είναι προτιμότερη δεδομένου ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί με τις υπάρχουσες διεπαφές (π.χ. CPRI).

Σε αντίθεση με τις υπάρχουσες προσεγγίσεις, οι οποίες βασίζονται σε μια προκαθορισμένη backhaul διαμόρφωση, προτείνουμε μια δυναμικά διαμορφώσιμη αρχιτεκτονική backhaul ώστε να επιτευχθούν ευέλικτες διαμορφώσεις και ως εκ τούτου να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά σε διαφορετικά προφίλ χρηστών και σχέδια κυκλοφοριακού φορτίου.

5.1.1 Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική του Δικτύου

Δεδομένου ότι θέλουμε να διαμορφώσουμε τη λογική συνδεσιμότητα του backhaul, περιγράφουμε προτεινόμενη αρχιτεκτονική του κεντρικού κόμβου επεξεργασίας που βοηθά να επιτευχθεί αυτή η ευέλικτη επικάλυψη backhaul, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 5.2. Οι βασικές λειτουργίες του κεντρικού μας κόμβου περιγράφονται παρακάτω :



Εικόνα 5.2: Σχεδιασμός central processing node

- Επεξεργασία αποσύνδεσης BBU από RRHs: Η Αποσύνδεση ενός κυττάρου (BS) επεξεργασίας από την απομακρυσμένη μονάδα της επιτρέπει σε ένα δεδομένο σύνολο μονάδων BBU τη δημιουργία σημάτων μετάδοσης που στέλνονται σε διαφορετικά σύνολα RRHs σε διαφορετικές

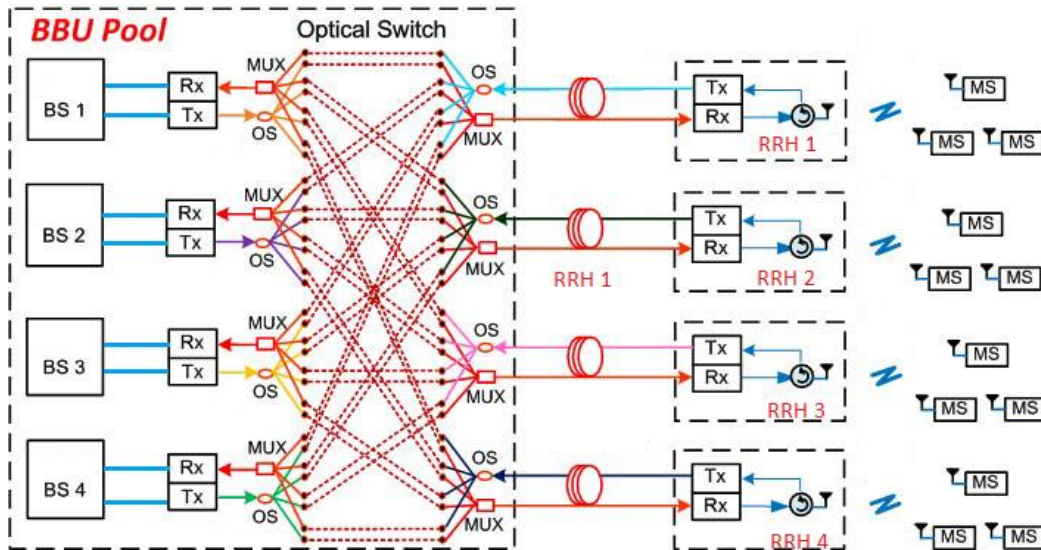
στιγμές. Επιπλέον, είναι επίσης σημαντικό να αποσυνδεθεί το *buffer* δεδομένων του χρήστη από την επεξεργασία BBU, σύμφωνα με την οποία πολλαπλά BBU's μπορούν να μοιραστούν τα δεδομένα του χρήστη. Αυτό είναι χρήσιμο όχι μόνο κατά τη διάρκεια κινητικότητας, αλλά και σε στατικά σενάρια, όπου διαφορετικές BBU's μπορεί να εξυπηρετήσουν το ίδιο κελί και ως εκ τούτου χρήστη σε διαφορετικές στιγμές.

- BBU Επιλογή και Προγραμματισμός: Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις της κυκλοφορίας του χρήστη, ο επιλογέας BBU καθορίζει τον κατάλληλο αριθμό μονάδων BBU που απαιτείται για την παραγωγή διακριτών πλαισίων μετάδοσης που θα αποστέλλονται στην RRHs. Τα πλαίσια μετάδοσης με τη σειρά τους καθορίζονται από το κοινό χρονοδιάγραμμα που θα λαμβάνει υπόψη τα *buffers* του χρήστη και τις απαιτήσεις της κυκλοφορίας τους. Επιπλέον, αυτό το συστατικό παρέχει επίσης την ευελιξία για να ενεργοποιηθεί το *virtualization* των πόρων σε φορείς εκμετάλλευσης δικτύων, τόσο μέσα σε κάθε κύτταρο και σε όλο το δίκτυο.

- Αναδιαμορφούμενα Switch: Μόλις τα ξεχωριστά πλαίσια μετάδοσης που δημιουργούνται μετά την επεξεργασία PHY το ψηφιακό *baseband I/Q* σήματα, αυτά μεταφέρονται στο CPRI και πρέπει να κατευθύνονται προς το σωστό σύνολο RRHs. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μίας μονάδας *switch* που προσδιορίζει (από κοινού με τη βοήθεια του πόρου BBU) το κατάλληλο σύνολο θυρών εξόδου για την ενεργοποίηση για ένα εισερχόμενο σήμα ανάλογα με το προβλεπόμενη σειρά του αποδέκτη RRHs για το πλαίσιο, επιτρέποντας έτσι την αναπαραγωγή σε πολλαπλές RRHs. Ένα BBU pool θα μπορούσε δυνητικά να χρησιμεύσει σε δεκάδες RRHs, ώστε να διασφαλίσει την επεκτασιμότητα στην αναδιαμόρφωση επικάλυψης, το στρώμα μεταγωγής αποτελείται από πολλαπλά *switches* μικρότερου μεγέθους (σε αντίθεση με ένα μεγάλο *switch*). Ενώ η μετάδοση ψηφιακών ραδιοφωνικών σημάτων μέσω CPRI είναι η προτιμώμενη προσέγγιση σε C-RAN, δύο παρατηρήσεις είναι αξιοσημείωτες: (i) η απαίτηση υψηλού εύρους ζώνης για τις *backhaul* (διάταξη του 10 Gbps για ένα σύστημα 4x4 MIMO), και (ii) κάθε RRH πρέπει να είναι εξοπλισμένο με ένα μονοπάτι RF, το οποίο διαφέρει από τον ένα φορέα στον άλλο.

- Οπτική μετατροπής και διανομής: Κάθε ψηφιακό *radio* σήμα κατά την έξοδο του *switch* μετατρέπεται προς το οπτικό πεδίο και φορτώνεται σε ένα μήκος κύματος. Τα πλαίσια σε διαφορετικά μήκη κύματος, πολυπλέκονται χρησιμοποιώντας WDM, όπου τα επιμέρους μήκη κύματος εκχωρούνται σε μικρά κύτταρα που είναι αντίστοιχα για να παραδοθούν σε χρήση *add-drop* πολυπλεκτών. Τα οπτικά σήματα μετά επαναμετατρέπονται πίσω στο ηλεκτρικό πεδίο, διαμορφωμένο σε RF και στη συνέχεια μεταδίδονται στο RRHs. Σημειώνουμε ότι, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει άλλες τεχνολογίες οπτικής μεταφοράς (π.χ. TDM-PON, Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM) -PON, κ.λπ.).

5.1.2 Υλοποίηση



Εικόνα 5.3: Υλοποίηση

Για να ενεργοποιηθεί η αναδιάρθρωση στο backhaul και ως εκ τούτου ο έλεγχος μετάδοσης σε RRHs, απασχολούμε οπτικούς διαχωριστές σε συνδυασμό με ένα οπτικό switch. Από το οπτικό μας switch υποστηρίζει μόνο 1-1 μεταγωγή, που επιτρέπει ευέλικτη εναλλαγή (1-1 και ένας πολλά) έμμεσα ως ακολούθως. Η έξοδος του κάθε BS διαμορφώνεται επάνω σε διαφορετικά μήκη κύματος μέσω μιας τεχνικής CWDM χρησιμοποιώντας διαφορετικούς πομπούς.

Κάθε σήμα κατερχόμενης ζεύξης διαχωρίζεται περαιτέρω από έναν οπτικό διαχωριστή μέσα σε π.χ. τέσσερα διαφορετικά μονοπάτια με ίση ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εκ τούτου, για τέσσερις BBU, υπάρχουν συνολικά 16 downlink μονοπάτια, και το καθένα από αυτά συνδέεται με μία ανεξάρτητη είσοδο του οπτικού switch. Από την άλλη πλευρά των switched, κάθε τέσσερα διαφορετικά μήκη κύματος τα μονοπάτια (ένα από κάθε BBU) πολυπλέκονται μαζί μέσω ενός CWDM πολυπλέκτη (MUX), και συνδέονται με ένα RRH μέσω μίας ενιαίας ίνας κατερχόμενης ζεύξης.

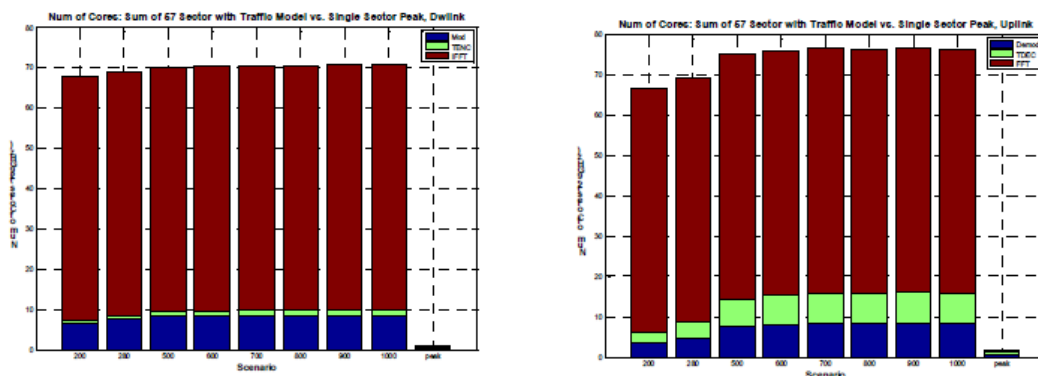
Η λειτουργία του οπτικού switch είναι να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει κάθε ανεξάρτητη πορεία από κάθε BBU σε κάθε RRH. Αυτό επιτρέπει σε κάθε BBU να μεταδώσει σε οποιαδήποτε 1-1 ή 1-πολλά RRH, επιτυγχάνοντας έτσι την πλήρη, ευέλικτη παραμετροποίηση. Ένα παρόμοιο σύστημα εφαρμόζεται για τη μετάδοση ανερχόμενης ζεύξης, όπου κάθε εισερχόμενη οπτική διαδρομή του σήματος είναι η πρώτη χωρίζεται σε τέσσερις και μεταφέρονται σε τέσσερις BBU. Σημειώνουμε ότι οι λογικές συνδέσεις μεταξύ BBU και RRH στην άνω ζεύξη είναι ακριβώς οι ίδιες όπως και στην κάτω ζεύξη. Ως εκ τούτου, ένα αντιστοιχισμένο οπτικό switch, το οποίο ταυτόχρονα ελέγχει δύο οπτικές διαδρομές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της πολυπλοκότητας του συστήματος. Σε κάθε RRH, ένας μόνο δέκτης χρησιμοποιείται για την ανίχνευση πολλαπλών μηκών κύματος με πολλαπλά σήματα RF να διεξάγονται πάνω τους. Στο uplink, κάθε RRH λαμβάνει ασύρματα σήματα από διαφορετικούς κινητούς σταθμούς (MSs), και μετατρέπει σύνολο ηλεκτρικών φασμάτων σε οπτικό πεδίο και μεταδίδει στο BBU pool. Ένα ζευγάρι πρότυπο, οπτική ίνα single-mode

χρησιμοποιείται για κάθε RRH - για μετάδοση ανερχόμενης ζεύξης και κατερχόμενης χωριστά. Είναι επίσης δυνατόν να χρησιμοποιείται μία ενιαίο ίνα και για τα δύο πάνω και κάτω ρεύματα. Ωστόσο, αυτό απαιτεί οπτικούς κυκλοφορητές τόσο σε BBU pool και RRHs ώστε να διαχωριστούν τα ρεύματα.

5.2 CPU διαχωρισμού για εφαρμογές C-RAN

Ο εξοπλισμός των data center αποτελείται κυρίως από servers γενικής χρήσης, μια ώριμη και το βελτιωμένου κόστους τεχνολογία. Η χρήση της Γενικής Χρήσης Μονάδας Κεντρικής Επεξεργασίας (GP-CPU) επιτρέπει στην ίδια πλατφόρμα επεξεργασίας να χρησιμοποιείται σε όλο την το σύστημα, και ως εκ τούτου η ανάγκη για μια ξεχωριστή πλατφόρμα για το φυσικό στρώμα και για άλλα στρώματα εξαλείφεται. Η γενική φύση της πλατφόρμας επεξεργασίας GP-CPU σπάει το παραδοσιακό δεσμό μεταξύ κυψελοειδούς παρόχου υποδομών και κυψελοειδούς παρόχου πνευματικής ιδιοκτησίας. Έτσι, οι κυτταρικοί φορείς είναι ελεύθεροι να επιλέξουν το βέλτιστο κυτταρικό λογισμικό για τις ανάγκες τους.

Ωστόσο, η υλοποίηση ολόκληρης της RAN στο data center και συγκεκριμένα πάνω σε GP-επεξεργαστές είναι προκλητική. Το GP-CPU χρειάζεται για την εκτέλεση εργασιών επεξεργασίας που δεν ήταν στο αρχικό πεδίο εφαρμογής της αρχιτεκτονικής της. Ορισμένες λειτουργίες, όπως το κανάλι αποκωδικοποίησης και αποπολύπλεξης είναι εξαιρετικά δύσκολο να εφαρμοστούν σε ένα GP-CPU. Για τα πολύ υψηλά ποσοστά που απαιτούνται σε συστήματα 4G, που υπερβαίνουν τα 100Mb/s/τομέα, η turbo αποκωδικοποίηση γίνεται ανέφικτη την εφαρμογή σε ένα GP-CPU. Άλλες μέθοδοι, όπως FFT μπορεί να εφαρμοστούν για το GP-CPU.



Εικόνα 5.4: Βασική χρήση downlink/uplink

Το φόρτο εργασίας για το C-RAN BBU pool χωρίζεται σε τρεις τύπους:

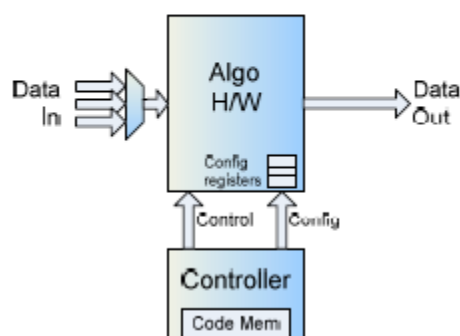
- IFFT για DL και FFT για την UL.
- Κωδικοποιητής Turbo για DL και αποκωδικοποιητής για την UL.
- Άλλες εργασίες όπως MIMO, CE και προκωδικοποίηση

Με βάση την έρευνα που γίνεται παραπάνω, ένας προσομοιωτής του επιπέδου συστήματος (SLS) οδηγεί σε έναν προγραμματισμένο αριθμό PRB, MCS και Turbo αποκωδικοποιητών. Αυτοί μετατρέπονται σε κύκλους CPU της Intel X86. Υποθέτοντας ρυθμό του ρολογιού 2.9GHz, είναι περαιτέρω μετατρέπεται με τον αριθμό των πυρήνων που απαιτούνται για π.χ. 57 τομείς.

Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.4. Είναι σαφές ότι FFT και IFFT απαιτούν μεγαλύτερο υπολογιστικό πόρο. Η FFT / IFFT είναι συνάρτηση συγκεκριμένων κυττάρων, και δεν έχει σημασία ποιο είναι το επίπεδο φορτίου που βρίσκεται στο κύτταρο, ο υπολογισμός διατηρεί το ίδιο φορτίο. Ενώ για άλλο επίπεδο λειτουργίας χρήστη, όπως CE, MIMO, Turbo κωδικοποιητή, ο υπολογισμός είναι ανάλογος με το κυκλοφοριακό φορτίο των κυττάρων. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο FFT / IFFT είναι ο κύριος υπολογισμός κατανάλωσης στο σενάριο C-RAN.

Ωστόσο, το GP-CPU δεν είναι η βέλτιστη πλατφόρμα για τις εργασίες αυτές σε όρους της κατανάλωσης ισχύος. Οι σκέψεις αυτές οδηγούν στην εισαγωγή ενός ειδικού συν-επεξεργαστή στην αλυσίδα επεξεργασίας. Τέτοιος συν-επεξεργαστής θα σχεδιαστεί ειδικά για την επεξεργασία των καθηκόντων που συνδέονται με ασύρματο μόντεμ, και θα εκτελεί τις κρίσιμες και εντατικές εργασίες. Έτσι, τα θέματα σε πραγματικό χρόνο θα πρέπει να μετριάστούν, και η κατανάλωση ενέργειας θα μειωθεί.

Στην προσέγγιση Modem Processing Unit (MPU), ολόκληρη η διαδρομή δεδομένων εκτελείται στο συν-επεξεργαστή. Το MPU εκτελεί το σύνολο της ροής του σήματος, ενώ η GP-CPU εκτελεί την ανίχνευση, την εκτίμηση και τη λήψη αποφάσεων των καθηκόντων. Το MPU πρέπει να χρησιμοποιεί μια αποτελεσματική αλλά και ευέλικτη μορφή επεξεργασίας σήματος.

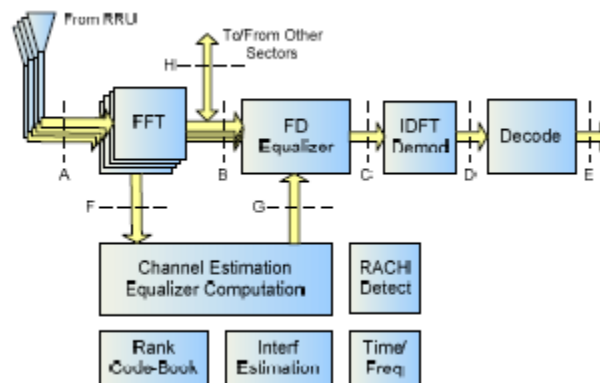


Εικόνα 5.5: ModemX APU.

Διάφορες τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση της MPU. Παραδοσιακά η προσέγγιση βασίζεται σε DSP, FPGA ή συνδυασμό αυτών. Οι αρχιτεκτονικές DSP παρέχουν

σημαντική ευελιξία και ευκολία του προγραμματισμού. Ωστόσο, τα συμβατικά DSPs δεν μπορούν να εκτελέσουν τις απαιτούμενες εργασίες επεξεργασίας και τυπικά σχέδια 4G συνοδεύονται από ειδικούς επιταχυντές. Τα FPGA σχέδια δεν είναι αποτελεσματικά στην περιοχή και απαιτούν σχετικά μεγάλο χρόνο για αναδιαμόρφωση. Τόσο οι DSP και FPGA αρχιτεκτονικές υστερούν καθώς έχουν μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.

Μια νέα αρχιτεκτονική, που ονομάζεται ModemX, αναπτύχθηκε πρόσφατα από ASOCS Ltd. Το ModemX καταπολεμά τις αδυναμίες που αναφέρθηκαν παραπάνω με τη χρήση ενός ετερογενούς αρχιτεκτονικού πυρήνα. Το βασικό στοιχείο του ModemX είναι μια APU. Ένα γενικό APU παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.5. Μια APU αποτελείται από ένα ειδικό μπλοκ αλγοριθμικών Η/Υ και έναν controller. Υπάρχουν διάφοροι τύποι των APUs, το καθένα αφιερωμένο σε ένα συγκεκριμένο τομέα των επιχειρήσεων. Μια τυπική δομή επεξεργασίας υλοποιείται με τη χρήση πολλών τέτοιων APUs. Τα APUs ελέγχονται από ένα RISC επεξεργαστή. Ο επεξεργαστής RISC χειρίζεται τον προγραμματισμό και τη διαμόρφωση του APU αλλά δεν εκτελεί εργασίες επεξεργασίας σήματος. Τα APUs συνδέονται μέσω μίας «μνήμης» διασύνδεσης. Οι πόροι μνήμης παρέχονται μέσω μιας κοινής μνήμης. Η ModemX αρχιτεκτονική είναι ευέλικτη και επεκτάσιμη. Η ευελιξία επιτυγχάνεται με τον προγραμματισμό των διάφορων APUs. Η επεκτασιμότητα επιτυγχάνεται με συνδυασμό πολλαπλών APUs ώστε να πληρούν τις απαιτήσεις επεξεργασίας. Η χρήση ενός ειδικού αλγοριθμικού μπλοκ καθιστά την αρχιτεκτονική



Εικόνα 5.6: FDD-LTE Uplink.

Η έννοια MPU χρησιμοποιείται για να αυξήσει το GP-CPU. Ολόκληρη η διαδρομή δεδομένων (άνω μέρος του σχήματος 5.6) ανατίθεται στην MPU. Το GP-CPU εκτελεί την ανίχνευση εκτίμησης και λήψης αποφάσεων των καθυκόντων, τα δείγματα baseband φτάνουν άμεσα με το MPU. Οι μεταφορές δεδομένων μεταξύ του MPU και την CPU αποτελούνται από διεπαφές F + G + E. Η συνολική απόδοση είναι 6.2Gb/s τομέα ή 50 Gb/s ανά διακομιστή.

Οι μεταφορές δεδομένων μεταξύ των στοιχείων επεξεργασίας θα πρέπει να διατηρούνται στο ελάχιστο. Επιπλέον, η τεχνολογία διασύνδεσης στο εγγύς μέλλον βάζει ένα ισχυρό όριο στο διαθέσιμο εύρος ζώνης μεταφοράς. Για παράδειγμα, το PCI Express 3.0, υποστηρίζει μέχρι και

8GB/s ανά λωρίδα, και ένα σύστημα 16 λωρίδων μπορεί να παρέχει μία θεωρητική τιμή του 128GB/s. Ωστόσο, ως μια καλή μηχανική πρακτική, ο συνολικός ρυθμός μεταφοράς δεδομένων θα πρέπει να διατηρείται κάτω από 80Gb/s.

5.3 Αλγόριθμος υλοποίησης κατανομής RRH ΣΕ BBU για το CRAN

Το C-RAN προτείνει μια μετάβαση από διανεμημένη σε κεντρική υποδομή για επεξεργασία της βασικής ζώνης των κυτταρικών σημάτων. Το C-RAN μπορεί ενδεχομένως να μειώσει το κόστος για την παροχή δεδομένων και επιτρέπει επίσης τεχνικές επεξεργασίας σήματος που βελτιώνουν το δίκτυο εκτέλεσης. Στα υπάρχοντα κυψελοειδή δίκτυα, υπολογίζουμε ότι οι πόροι για την εκτέλεση επεξεργασίας baseband βρίσκονται σε κάθε κελί. Ωστόσο, στην προτεινόμενη κεντρική αρχιτεκτονική, οι πόροι υπολογιστικής βρίσκονται σε μια κεντρική τοποθεσία.

Η αρχιτεκτονική πραγματοποιείται με μεταφορά των κυτταρικών σημάτων (επίσης γνωστή ως I/Q φάση σήματος) πάνω από ίνες υψηλής ταχύτητας από τις κεραιές στο χώρο κυψελών στην κεντρική τοποθεσία. Οι θέσεις των κυττάρων που βρίσκονται σε μια ακτίνα μέχρι και 10 km από η κεντρική θέση. Υπάρχουν πιθανά οφέλη σε αυτήν την προσέγγιση, τα οποία περιλαμβάνουν:

- Εξοικονόμηση στα λειτουργικά έξοδα λόγω της μείωσης των επιτόπιων επισκέψεων για αναβάθμιση και τη συντήρηση, και, ενδεχομένως, χαμηλότερο κόστος στο χώρο μίσθωσης.
- Η χρήση προηγμένων τεχνικών επεξεργασίας σήματος συντονισμένη από κοινού με επεξεργασία σήματος από γειτονικούς σταθμούς βάσης θα βελτιώσει σημαντικά την απόδοση του δικτύου.
- Μια πιθανή μείωση των ενεργειακών δαπανών με την εκμετάλλευση των διακυμάνσεων του φορτίου και χρησιμοποιώντας μόνο όσους πόρων υπολογιστικής απαιτούνται για την επεξεργασία των σταθμών βάσης. Αυτό θα εκμεταλλευτεί τις διακυμάνσεις του φορτίου επεξεργασίας των σταθμών βάσης σε multiplex πολλαπλούς σταθμούς βάσης σε έναν ενιαίο πόρο.

Ωστόσο, οι δαπάνες για τη μεταφορά των σημάτων I/Q στην κεντρική αρχιτεκτονική πρέπει να συνυπολογιστούν κατά την αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων της κεντρικής επεξεργασίας, αλλά αυτή η οικονομική ανάλυση είναι εκτός του πεδίου εφαρμογής της παρούσας διατριβής.

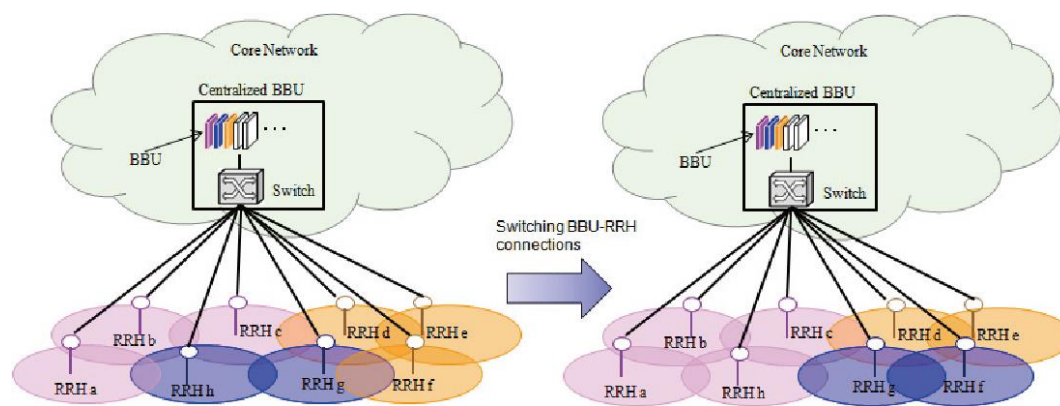
Στα παραδοσιακά κυψελοειδή συστήματα, οι πόροι υπολογιστικής τροφοδοτούνται ώστε να χειριστούν το φορτίο αιχμής σε έναν σταθμό βάσης, και να καλύψουν τις ανάγκες σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, στη C-RAN αρχιτεκτονική, οι διακυμάνσεις των φορτίων επεξεργασίας των σταθμών βάσης μπορεί να χρησιμοποιούνται για multiplex πολλαπλούς σταθμούς βάσης σε ένα μόνο πόρο. Οι παραλλαγές στο φορτίο μπορούν να συμβούν σε μικρές χρονικές κλίμακες (διάταξη ms), αλλά δεν είναι δυνατόν να αλλάξει η αντιστοίχιση των σταθμών βάσης για τον υπολογισμό των πόρων σε τέτοιες χρονικές κλίμακες.

Ως εκ τούτου, μπορούμε να επιτρέψουμε αλλαγές στην κατανομή των σταθμών βάσης για τον υπολογισμό των πόρων σε μεγαλύτερες κλίμακες χρόνου (σειρά 60 λεπτά) και έτσι παρέχεται

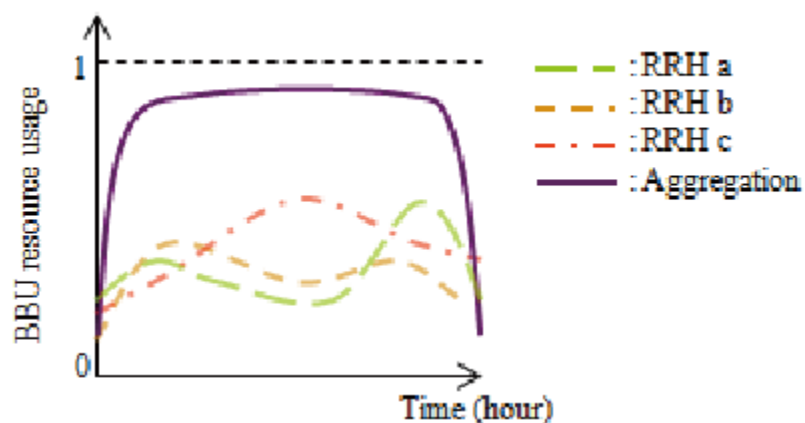
στατιστικά εγγύηση για το αν οι σταθμοί βάσης καλύπτουν με επιτυχία και σε πραγματικό χρόνο προθεσμίες τους.

Το σχήμα 5.7 απεικονίζει την αρχιτεκτονική C-RAN. Το κεντρικό BBU έχει έναν αριθμό από BBU. Κάθε BBU μπορεί να ελέγξει μία ή περισσότερες RRHs εντός του ορίου των στοιχείων που μπορεί να χειριστεί ένα BBU. Επιπλέον, το C-RAN έχει μια λειτουργία συγκέντρωσης BBU που μπορεί να αλλάξει τους συνδυασμούς των BBUs και RRHs έτσι ώστε να μην υπερβαίνει το ανώτατο όριο της χρήσης των πόρων BBU. Για παράδειγμα, το Σχήμα 5.7 παρουσιάζει ένα παράδειγμα BBU RRH μεταγωγής. Στο σχήμα αριστερά του σχήματος 5.7, RRHa, RRHb, RRHc, RRHh, RRHg, και RRHd, RRHe, RRHf είναι συνδεδεμένα με το ίδιο BBU, αντίστοιχα.

Από την άλλη πλευρά, στο σχήμα δεξιά του Σχήματος 5.7, RRHh και RRHf είναι ενεργοποιημένο και στη συνέχεια, RRHa, RRHb, RRHc, RRHh, RRHg, RRHf και RRHd, RRHe είναι συνδεδεμένα με το ίδιο BBU. Η εναλλαγή μπορεί να εκτελεστεί ως έναυσμα για το κυκλοφοριακό φορτίο του RRHs.



Εικόνα 5.7: Αρχιτεκτονική C-RAN



Εικόνα 5.8: Το παράδειγμα της Χρονικής Σειράς Χρήσης Ραδιοσυχνοτήτων για RRHa, RRHb, RRHc, και η συσσωμάτωσή τους.

Το σχήμα 5.8 παρουσιάζει διακυμάνσεις στις χρονολογικές σειρές στη χρήση BBU πόρων στις περιοχές κάλυψης του RRHa, RRHb και RRHc. Σε αυτήν την περίπτωση, η συνολική BBU χρήση των πόρων όλων των RRHs δεν υπερβαίνει το ένα. Ως εκ τούτου, RRHa, RRHb, και RRHc μπορεί να διαχειριστεί από ένα BBU. Ως εκ τούτου, το C-RAN μπορεί να μειώσει το κόστος δικτύου λόγω της μείωσης του αριθμού των BBUs που απαιτούνται για αποτελεσματικής κατανομής των πόρων BBU ανάλογα με το φορτίο κυκλοφορίας [8].

Για να συνειδητοποιήσουμε την αποτελεσματική λειτουργίες συγκέντρωσης BBU, εισάγουμε τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Μείωση BBU: Οι RRHs ανατίθενται στα BBUs έτσι ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατόν λιγότερα BBUs.
- Συνάθροιση RRH: Τα γειτονικά RRHs ανατίθενται στην ίδια BBU όταν αυτό είναι δυνατόν.

Η δεύτερη προϋπόθεση του συνυπολογισμού εισάγεται για να διευκολυνθεί η συνεργασία ελέγχων μεταξύ γειτονικών RRHs, όπως COMP μετάδοσης / λήψης.

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω προϋποθέσεις, προτείνουμε μια προσαρμοστική μεταγωγή σε BBU-RRH συστήματα. Το προσαρμοστικό σύστημα καθορίζει τους συνδυασμούς μεταξύ BBUs και RRHs για να φιλοξενήσει το φορτίο κυκλοφορίας για ένα χρόνο ενεργοποίησης σε διάστημα 1 ώρας και την ελαχιστοποίηση του αριθμού των ενεργών BBUs.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμός μας είναι ένα σύστημα μετατροπής από Conventional RAN, όπου υπάρχει ένας-προς-έναν χαρτογράφηση μεταξύ BBUs και RRHs σε μία δυναμική χαρτογράφηση ένα-προς-πολλά, όπου οι συστάδες τυποποιούνται και κάθε BBU μπορεί να εξυπηρετήσει μία ή περισσότερες RRHs με βάση τις απαιτήσεις του φορτίου κυκλοφορίας. Η ομαδοποίηση διατυπώθηκε μεταξύ RRHs και το συνολικό φορτίο που κάθε BBU μπορεί υποστηρίζει.

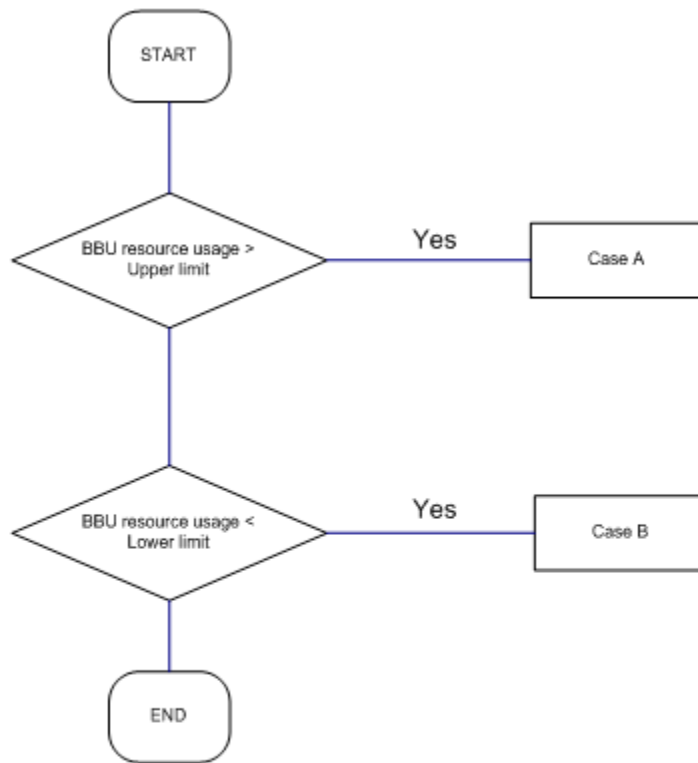
Το προσαρμοζόμενο σύστημα εναλλαγής BBU-RRH έχει υψηλή πολυπλοκότητα επειδή ένα χρονικό διάστημα όπως μία ώρα για την εναλλαγή BBU-RRH είναι μικρό. Από την άλλη πλευρά, μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα φορτίο κυκλοφορίας το οποίο κυμαίνεται σημαντικά.

Το σχήμα 5.9 παρουσιάζει έναν αλγόριθμο για το προσαρμοστικό σύστημα εναλλαγής BBU-RRH. Ο αλγόριθμος εκτελείται όταν η χρήση των πόρων BBU υπερβαίνει το ανώτατο όριο (Περίπτωση A) ή μειώνεται κάτω από το κατώτατο όριο (Περίπτωση B). Προκειμένου να εκτιμηθεί αν η συγκεκριμένες BBU θα εξαντληθούν από τη χρήση των πόρων ή θα παραμείνουν αδρανής για πε τον ρισσότερα από το χρόνο, τα ανώτερα και κατώτερα όρια του συντελεστή χρήσης φορτίου του BBU ορίζονται αντίστοιχα, τα οποία είναι ανώτερο όριο = 90% και κατώτερο όριο = 30%, αντίστοιχα, από την κοινή αντίληψη.

Κάθε διαδικασία μεταγωγής BBU-RRH έχει ως εξής:

Περίπτωση 1 : Η χρήση των πόρων BBU υπερβαίνει το ανώτατο όριο

Ενώ υπάρχει ένα BBU το οποία είναι ενεργό και έχει φορτώσει μεγαλύτερο από το ανώτερο ορίου, ($\max\text{BBUThresh}$), η επανεκχώρηση RRHs εξυπηρετείται από το εν λόγω BBU.



Εικόνα 5.9: Προσαρμοστικό σχήμα αλλαγής BBU-RRH.

Βήματα:

1. Εντοπίζουμε το BBU με το μέγιστο φορτίο.
2. Εάν αυτό BBU είναι ενεργό και το φορτίο χρησιμοποίησης είναι μεγαλύτερο από το ανώτατο όριο ($maxBBUThresh$) βρίσκουμε τους δείκτες RRHs που εξυπηρετεί.
3. Για κάθε RRH που εξυπηρετείται από αυτό το BBU, επιλέξτε μια BBU να εκφορτωθεί σε, ως εξής:
 - i Βρίσκουμε τους άμεσους γείτονες, οι οποίοι δεν εξυπηρετούνται από αυτό το BBU.
 - ii Επιλέγουμε το στόχο BBU από τη λίστα των γειτόνων που υπηρετεί τα περισσότερα RRHs.
 - iii Βρίσκουμε το BBU με το μέγιστο φορτίο που μπορεί να εξυπηρετήσει αυτό το RRH και εξακολουθεί διατηρεί ένα φορτίο μικρότερο από το ανώτατο όριο ($maxBBUThresh$).
 - iv Διαθέτουμε αυτό RRH στο BBU που αποτελεί τον στόχο μας .
4. Εάν κανένας από τους άμεσους γείτονες δεν μπορεί να φιλοξενήσει το φορτίο των RRHs εξυπηρετούνται από το BBU που είναι υποψήφιο για εκφόρτωση, ακολουθούνται βήματα 3α έως 3d σε ολόκληρο το RAN.

5. Όταν όλα τα RRHs του στόχου BBU εκφορτωθούν, η Περίπτωση A έχει ολοκληρωθεί και η χρήση των πόρων εμποδίζεται από το να εξαντληθεί. Αυτό είναι μια προληπτική δράση που αναλαμβάνεται από τον αλγόριθμο.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η περίπτωση A καλείται να εκτελεστεί σε δύο παρακάτω περιπτώσεις:

A) Σε $t = 0$, όταν το φορτίο κατανέμεται σε κάθε RRH, και βασίζεται σε τρία διαφορετικά προφίλ κυκλοφορίας, και υπάρχει ένας-προς-έναν χαρτογράφηση μεταξύ RRHs και BBU. Υπάρχει πιθανότητα ότι το φορτίο να κατανέμεται σε κάθε RRH και ως εκ τούτου, το φορτίο στο BBU, να υπερβαίνει το ανώτατο όριο.

B) Επιπλέον, με δεδομένο το φορτίο του κάθε RRH σε $t = x$ και το επερχόμενο φορτίο σε $t = x + 1$, το συνολικό φορτίο του κάθε BBU που καλείται να εξυπηρετήσει τα RRHs, μπορεί να υπερβαίνει το ανώτερο όριο.

Περίπτωση 2 : Η χρήση των πόρων BBU μειώνεται κάτω από το κατώτατο όριο

Εφαρμόζεται εάν υπάρχει ένα BBU το οποίο είναι ενεργό και έχει φορτίο κάτω από το κατώτατο όριο ($MinBBUThresh$), η επανεκχώρηση RRHs εξυπηρετείται από το εν λόγω BBU.

Βήματα:

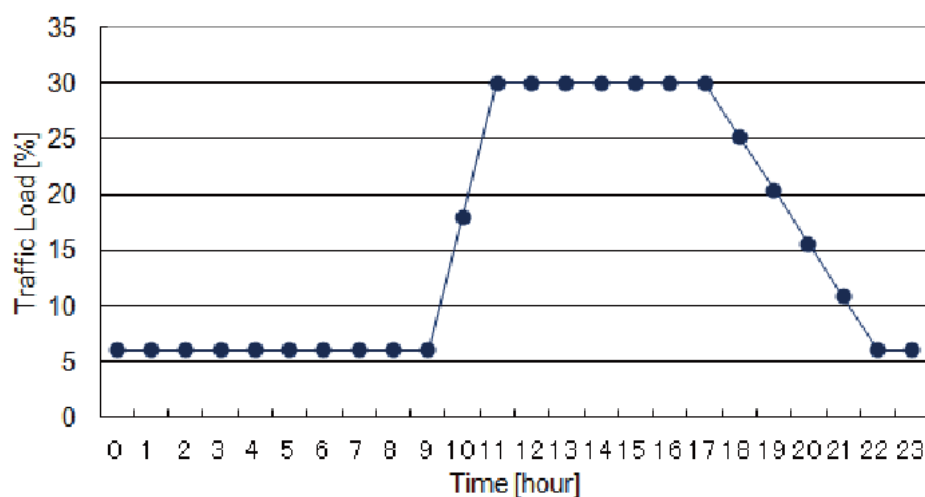
1. Εντοπίζουμε BBU με ελάχιστο φορτίο.
2. Εάν αυτό BBU είναι ενεργό και ελάχιστο φορτίο είναι μικρότερο από το κατώτατο όριο ($minBBUThresh$) βρίσκουμε τα RRHs που εξυπηρετεί.
3. Για κάθε RRH εξυπηρετείται από αυτό το BBU, επιλέγουμε ένα BBU να γίνει εκφόρτωση σε, από:
 - i Βρίσκουμε άμεσους γείτονές του, οι οποίοι δεν εξυπηρετούνται από αυτό το BBU.
 - ii Επιλέγουμε το στόχο BBU από τη λίστα των γειτόνων που υπηρετεί τα περισσότερα RRHs.
 - iii Βρίσκουμε το BBU με το μέγιστο φορτίο που μπορεί να εξυπηρετήσει αυτό το RRH και εξακολουθεί να διατηρεί ένα φορτίο μικρότερο από το ανώτατο όριο ($maxBBUThresh$).
 - iv Διαθέστε αυτό το RRH στο στόχο BBU.
4. Εάν κανένας από τους άμεσους γείτονές δεν μπορεί να φιλοξενήσει το φορτίο των RRHs που εξυπηρετούνται από το υποψήφιο BBU ώστε να εκφορτωθεί, ακολουθούμε τα βήματα 3α έως 3d σε ολόκληρο το δίκτυο.
5. Όταν όλα τα RRHs του στόχου BBU εκφορτωθούν, απενεργοποιούμε το BBU.

5.4 Αριθμητική Ανάλυση

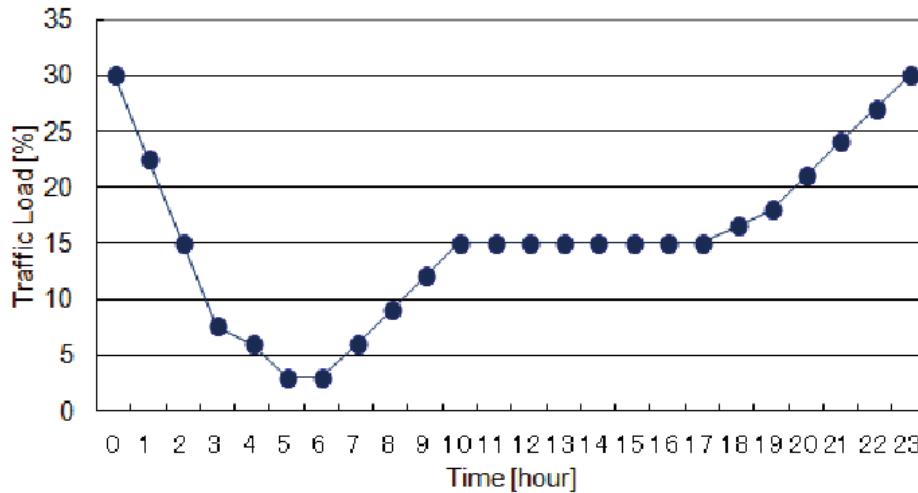
Αξιολογούμε την απόδοση του προτεινόμενου συστήματος εναλλαγής BBU-RRH σε σύγκριση με τη συμβατική ανάπτυξη των κυττάρων. Οι συνθήκες προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 5.1. Ο υποτιθέμενος αριθμός των RRHs είναι 100. Η υποτιθέμενη περιοχή κάλυψης του RRH είναι μια εξαγωνικό διάταξη. Ως εκ τούτου, εκατό BBUs και RRHs απαιτούνται για τις συμβατικές αναπτύξεις των κυττάρων.

Number of RRHs	100
Coverage area of a RRH	Hexagonal layout
Target Time	48 hours
Traffic profiles	i) office ii) residence iii) random
Time interval of BBU-RRH switching scheme	1 hour
Upper Limit for BBU resource	90%
Lower Limit for BBU resource	30%
Peak Data Rate in LTE	Light DL: 150Mbps (UE Category 4, 2x2 MIMO, 20MHz bandwidth), Heavy DL: 300Mbps (UE category 5, 4x4 MIMO, 20MHz bandwidth), UL: 75Mbps (20MHz bandwidth)
BBU maximum load	671Mbps
Cell radius	0.5 Km

Πίνακας 5.1 : Συνθήκες προσομοίωσης



Α.Περιοχή με γραφεία



Β.Περιοχή με κατοικίες

Εικόνα 5.10 : Δεδομένα κίνησης σε περιοχές εργασίας (α) , κατοικιών (β)

Υποθέτουμε ότι έχουμε τρία τυπικά προφίλ της κυκλοφορίας ως δεδομένα εισόδου του κυκλοφοριακού φορτίου. Το ένα είναι ένας χώρος με γραφείου\\α (επιχειρηματικό τομέα), ένα άλλο είναι μια περιοχή με κατοικίες , όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.10 και το τρίτο είναι ένα τυχαίο προφίλ κυκλοφορίας. Το προφίλ της κυκλοφορίας στο χώρο γραφείων έχει αιχμή της κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της ημέρας (11:00-17:00). Το προφίλ της κυκλοφορίας της περιοχής με τις κατοικίες έχει αιχμή της κυκλοφορίας το βράδυ (23:00-24:00). Ο κάθετος άξονας είναι το φορτίο της κυκλοφορίας στο σχήμα 5.10. Το φορτίο κυκλοφορίας του κάθε RRH παράγεται από μία τυχαία σειρά με βάση τα προφίλ κίνησης. Και τα τρία αναφερόμενα προφίλ της κυκλοφορίας θα προσομοιωθούν και θα συγκριθούν κάτω από ένα βαρύ και ένα ελαφρύ όγκο ρυθμού δεδομένων.

Στις προσομοιώσεις μας, το υποτιθέμενο χρονικό διάστημα για BBU-RRH μετάβαση στο προτεινόμενο προσαρμοστικό σύστημα είναι μία ώρα. Το ανώτερο και το κατώτερο όριο BBU πόρων χρήσης είναι 90% και 30%, αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι το προτεινόμενο σύστημα εφαρμόζεται για BBUs όταν η χρήση των πόρων BBU είναι μεγαλύτερη από το ανώτατο όριο ή είναι χαμηλότερη από το κατώτερο όριο, σε κάθε χρονικό διάστημα (1 ώρα) .Σημείωση ότι οι προσομοιώσεις βασίζονται σε κυκλοφοριακό φορτίο για 48 ώρες και δημιουργήθηκε από ένα αντίγραφο ενός φορτίου κυκλοφορίας για 24 ώρες.

Στη συνέχεια, θα αξιολογηθεί η επίδραση της συσσωμάτωσης RRH. Η συγκέντρωση RRH σημαίνει ότι τα γειτονικά RRHs έχουν ανατεθεί στο ίδιο BBU όταν αυτό είναι δυνατόν. Εμείς θα εξετάσουμε τη συσσωμάτωση RRH και τον αριθμό των ενεργών BBUs σε σύγκριση με συμβατική ανάπτυξη των κυττάρων, ειδικά κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής του φορτίου κυκλοφορίας. Θα συγκρίνουμε την επιρροή που έχουν οι τρεις παρακάτω παράγοντες, για τη συγκέντρωση BBU και για το συντελεστή ενεργειακής απόδοσης:

1. Φορτίο Κυκλοφορίας:

1.1. Βαρύ Φορτίο : 4x4 MIMO, 20MHz bandwidth

1.2. Ελαφρύ Φορτίο: 2x2 MIMO, 20MHz bandwidth

2. Προφίλ Κυκλοφορίας:

2.1. Γραφείο

2.2. Κατοικία

2.3. Τυχαίο

3. Όριο Ποιότητας:

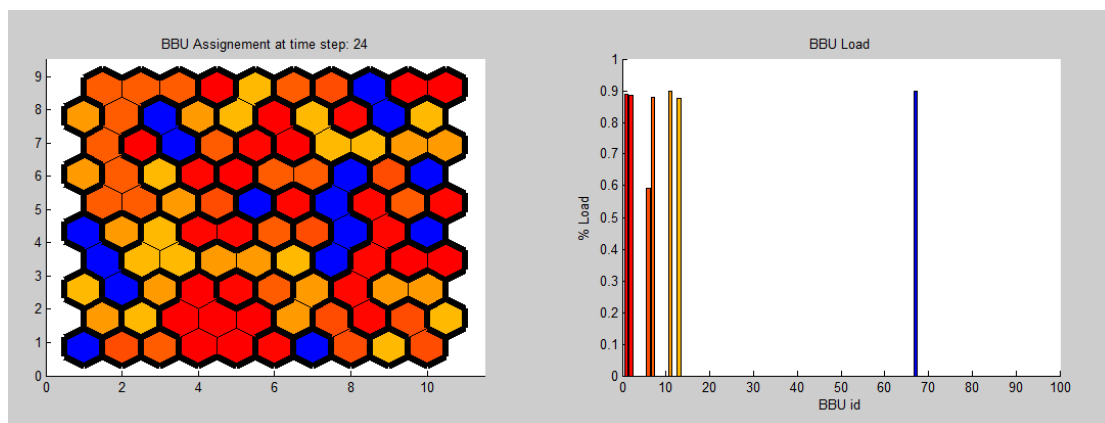
3.1. Ανώτατο όριο

3.1.1. $maxBBUThresh = 90%$ και $maxBBUThresh = 100%$

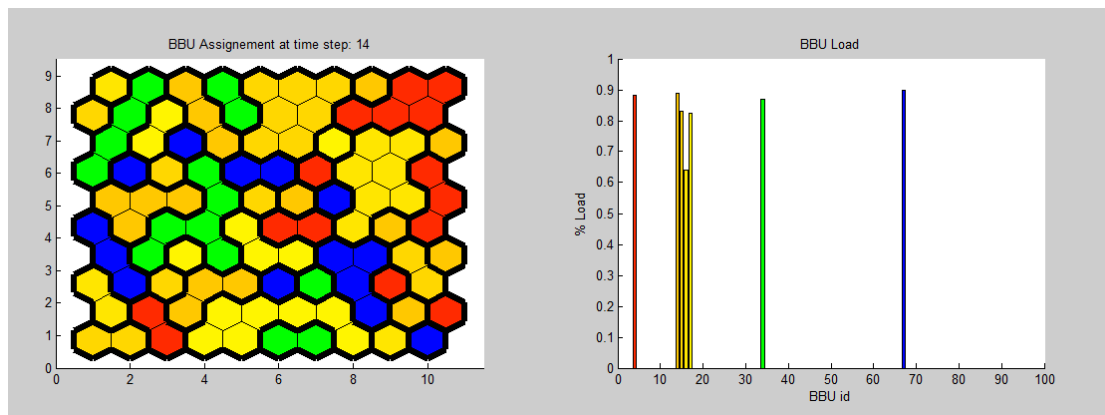
5.4.1 Φορτίο Κυκλοφορίας

5.4.1.1 Ελαφρύ φορτίο

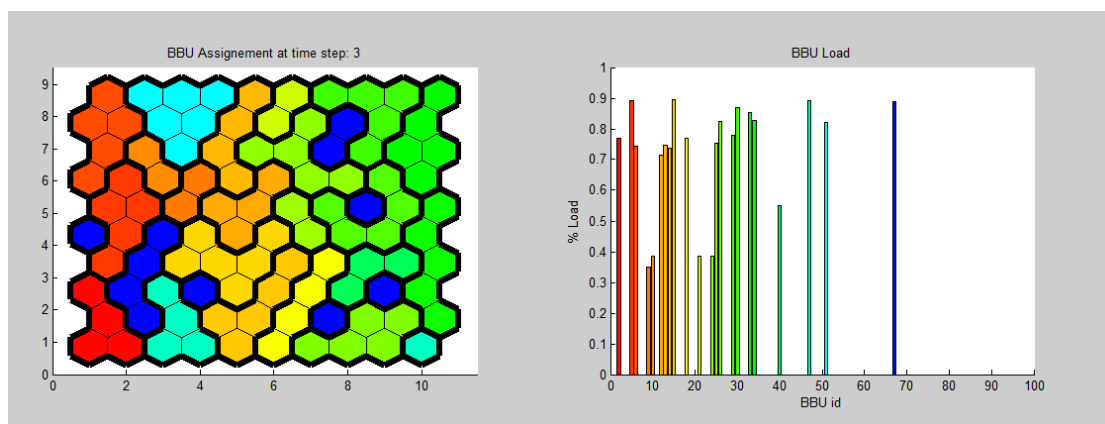
Το σχήμα 5.11 απεικονίζει ένα χρωματικό χάρτη της διάταξης RRH όπου έχουν ανατεθεί στο ίδιο BBU. Αυτά είναι τα αποτελέσματα ανάθεσης για την κατοικία, το γραφείο και το τυχαίο προφίλ κυκλοφορίας αντίστοιχα, που λειτουργούν κάτω από ένα ελαφρυ φορτίο. Όπως μπορούμε να δούμε από το Σχήμα 5.11α', σε $t = 24$ έχουμε την υψηλότερη χρήση πόρων και 7 BBU's είναι ενεργοί, προκειμένου να εξυπηρετήσουν τις απαιτήσεις της κυκλοφορίας. Το ίδιο BBU ομαδοποιείται με αποτέλεσμα να εμφανίζονται για το προφίλ της κυκλοφορίας γραφείου, όπως μπορούμε να δούμε από το Σχήμα 5.11β', σε $t = 14$, όπου και τα 7 BBU's είναι ενεργά. Για ένα τυχαίο προφίλ κυκλοφορίας μπορούμε να δούμε με βάση το μέσο αριθμό των ενεργών BBU's σε κάθε ώρα (Σχήμα 5.12), ότι το σύστημά μας χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό σε $t = 3$, όπου 22 BBU's είναι ενεργά (Σχήμα 5.11γ').



Προφίλ κίνησης σε περιοχές με κατοικίες (t=24)



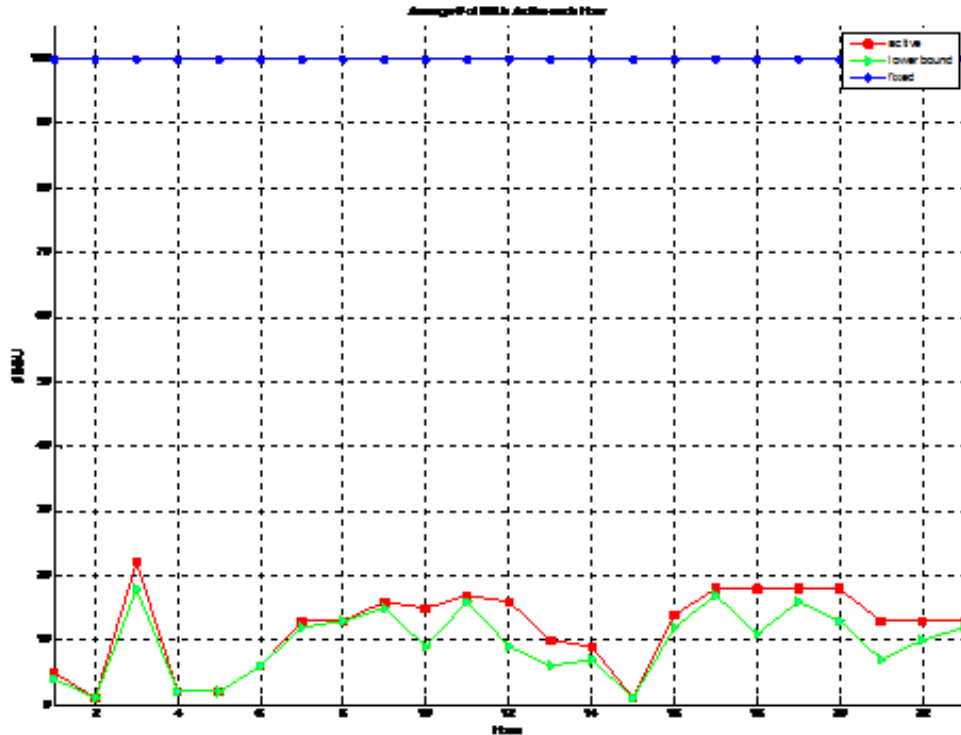
Προφίλ κίνησης σε περιοχές με γραφεία (t=14)



Προφίλ κίνησης σε τυχαίες περιοχές (t=3)

Εικόνα 5.11: Διάταξη RRH και ενεργά BBU για ελαφρύ φορτίο και κατώτατο όριο ποιότητας= 0,9.

Όπως μπορούμε να δούμε από τις παραπάνω προσομοιώσεις ο αριθμός των ενεργών BBU στην κατοικία, το γραφείο και τυχαία προφίλ για ένα δίκτυο με ελαφρύ φορτίο είναι 7, 7 και 22 αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια των πιο πολυσύχναστων ωρών. Αυτά μειώνονται κατά 93%, 93% και 78% σε σύγκριση με τη συμβατική ανάπτυξη των κυττάρων. Ο μέγιστος αριθμός των BBU αποδίδεται κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής του φορτίου κυκλοφορίας.



Εικόνα 5.12: Μέσος αριθμός ενεργών μονάδων BBU κάθε ώρα για προφίλ τυχαίου φορτίου.

Ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσης για το παραπάνω σενάριο υπολογίζεται με βάση τα μέγιστα ενεργά BBU's κατά τη διάρκεια της δοκιμής μας (48 ώρες):

$$EnergyEfficiencyFactor_{conv} = \frac{ActiveBBUs}{TotalBBUs} = 1$$

$$EnergyEfficiencyFactor_{res} = \frac{ActiveBBUs}{TotalBBUs} = 0.07$$

$$EnergyEfficiencyFactor_{off} = \frac{ActiveBBUs}{TotalBBUs} = 0.07$$

$$EnergyEfficiencyFactor_{rnd} = \frac{ActiveBBUs}{TotalBBUs} = 0.22$$

5.4.1.2 Βαρύ φορτίο

Το σχήμα 5.13 απεικονίζει ένα χρωματικό χάρτη της διάταξης RRH όπου τα ίδια BBUs έχουν ανατεθεί. Αυτά είναι τα αποτελέσματα ανάθεσης για την κατοικία, το γραφείο και τυχαίο προφίλ κυκλοφορίας αντίστοιχα, που λειτουργούν κάτω από ένα βαρύ φορτωμένο δίκτυο.

Όπως μπορούμε να δούμε από το Σχήμα 5.13α', σε $t = 1$ έχουμε την υψηλότερη χρήση των πόρων για το προφίλ σε περιοχές κατοικίας όπου 15 BBUs είναι ενεργά, προκειμένου να εξυπηρετήσουν την απατούμενη κυκλοφορία. Για το προφίλ της κυκλοφορίας γραφείου σε $t = 12$ έχουμε 14 ενεργά BBUs όπως απεικονίζεται το σχήμα 5.13β'.

Για μια τυχαία θέση δημιουργείται το προφίλ της κυκλοφορίας που μπορούμε να δούμε με βάση το σχήμα 5.14, ότι το σύστημά μας σε μεγάλο βαθμό χρησιμοποιείται σε $t = 9$, όπου όπου 45 BBUs είναι ενεργά (Σχήμα 5.11γ'). Όπως μπορούμε να δούμε από τις παραπάνω προσομοιώσεις ο αριθμός των ενεργών BBUs που διατίθενται στην κατοικία, το γραφείο και για το τυχαίο προφίλ για ένα βαριά φορτωμένο δίκτυο είναι 15, 14 και 45, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια των πιο πολυσύχναστων ωρών. Αυτά μειώνονται κατά 85%, 86% και 55% σε σύγκριση με τη συμβατική ανάπτυξη των κυττάρων. Ο μέγιστος αριθμός των BBUs αποδίδεται κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής του φορτίου κυκλοφορίας.

Ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσης για το παραπάνω σενάριο υπολογίζεται με βάση τα μέγιστα ενεργά BBUs κατά τη διάρκεια της δοκιμής μας (48 ώρες):

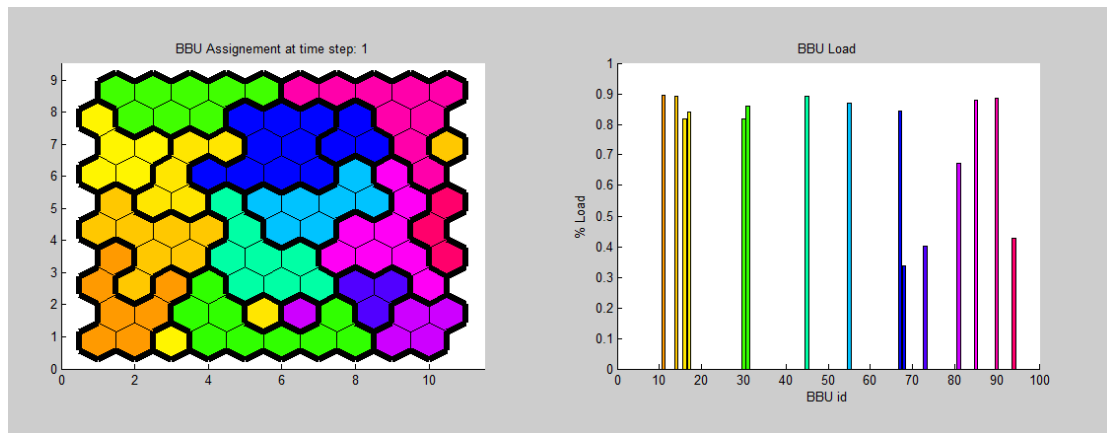
$$EnergyEfficiencyFactor_{conv} = \frac{ActiveBBUs}{TotalBBUs} = 1$$

$$EnergyEfficiencyFactor_{res} = \frac{ActiveBBUs}{TotalBBUs} = 0.15$$

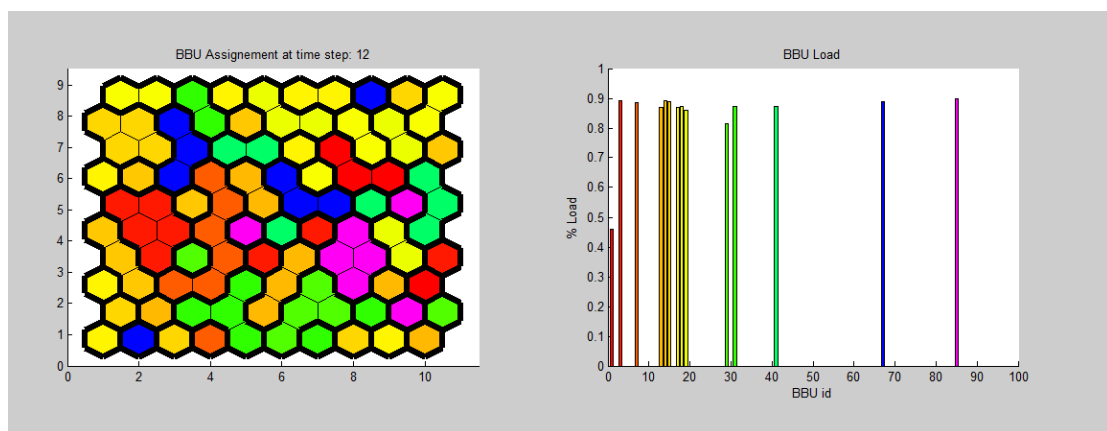
$$EnergyEfficiencyFactor_{off} = \frac{ActiveBBUs}{TotalBBUs} = 0.14$$

$$EnergyEfficiencyFactor_{rnd} = \frac{ActiveBBUs}{TotalBBUs} = 0.45$$

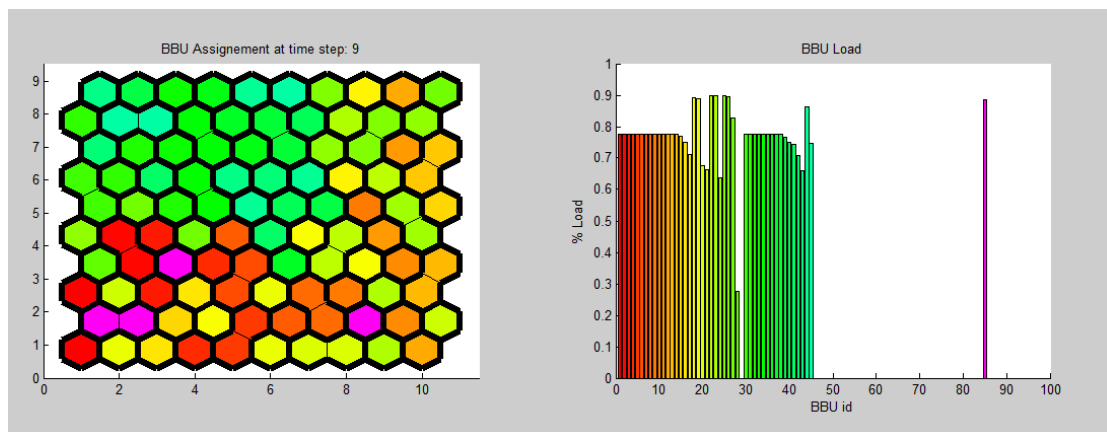
Μπορούμε να δούμε ότι τα διαφορετικά φορτία κυκλοφορίας έχουν αντίκτυπο στο συνολικό αριθμό των ενεργών BBUs στο σύστημά μας. Επιπλέον ένα βαριά φορτωμένο δίκτυο χρειάζεται περισσότερα ενεργά BBUs προκειμένου να φιλοξενήσει το φορτίο του δικτύου.



Προφίλ κίνησης σε περιοχές με κατοικίες (t=1)



Προφίλ κίνησης σε περιοχές με γραφεία (t=12)



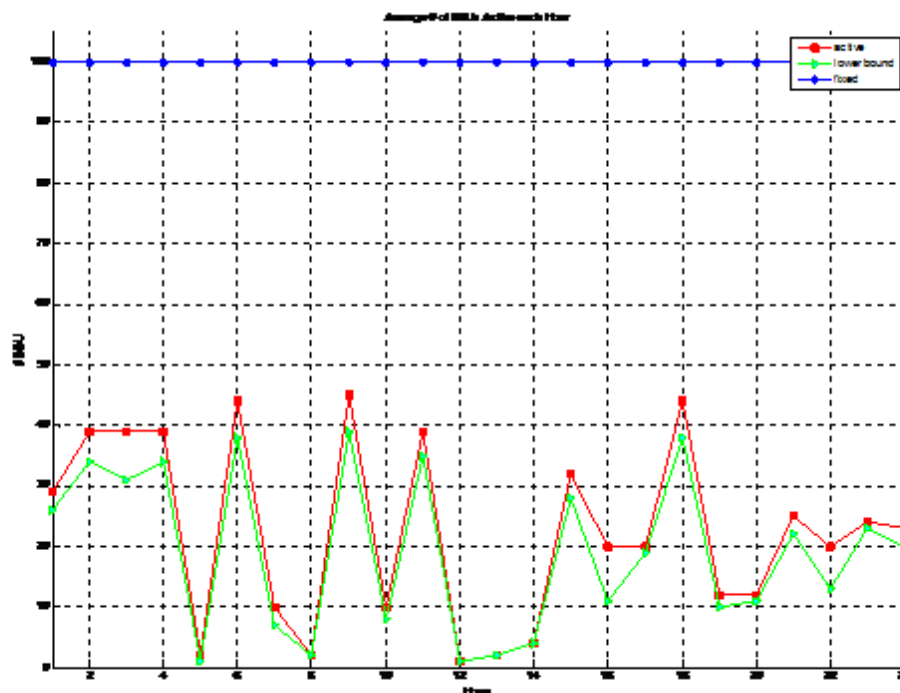
Προφίλ κίνησης σε τυχαίες περιοχές(t=9)

Εικόνα 5.13: Διάταξη RRH και ενεργά BBU για βαρύ φορτίο και ποιοτικό όριο = 0,9.

5.4.2 Προφίλ Κυκλοφορίας

Από τις παραπάνω προσομοιώσεις μπορούμε να δούμε ότι ο μέσος αριθμός των ενεργών BBUs (Πάνω απο 10 δοκιμές) για τρία διαφορετικά προφίλ κυκλοφορίας, στο πλαίσιο ενός δικτύου φορτωμένα για παράδειγμα, ακολουθεί το ίδιο μοτίβο της χρήσης των πόρων RRHs (Σχήμα 5.15).

Αυξημένο φορτίο κυκλοφορίας απαιτεί αύξηση του αριθμού των ενεργών BBUs.



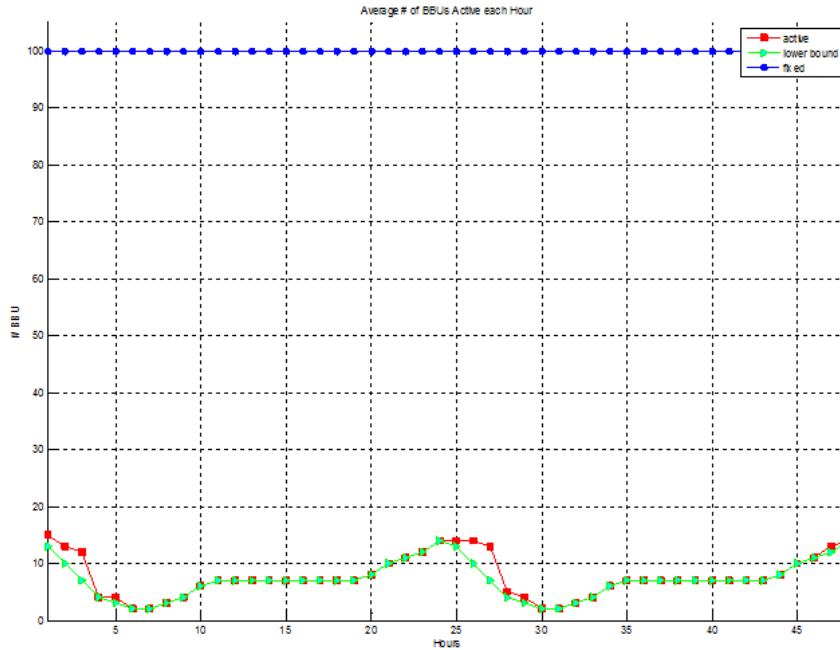
Εικόνα 5.14: Μέσος αριθμός μονάδων BBU που ενεργοποιούνται κάθε ώρα για τυχαίο προφίλ φορτίου.

5.4.3 Ποιότητα όριου

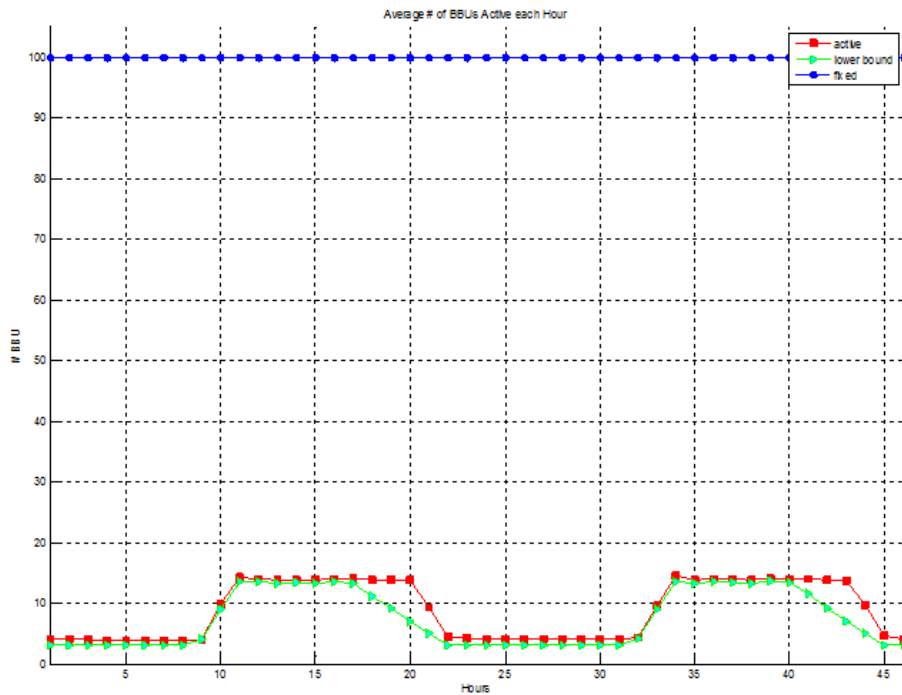
Μέχρι τώρα όλες οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται με την παραδοχή ότι η ανώτερο όριο της χρήσης πόρων BBU είναι 90%. Αυτό το όριο ποιότητας επιλέχθηκε ως ορθή τεχνική πρακτική και έχει το σύστημά μας λειτουργεί υπό τη βέλτιστη συνθήκες. Ανώτερο όριο είναι μία παράμετρος απόφαση για τον αριθμό των RRHs κάθε BBU μπορούν να φιλοξενήσουν. Με την κοινή αντίληψη που μπορεί να σημαίνει ότι όσο υψηλότερη είναι η ανώτατο όριο είναι οι πιο RRHs μπορούν να συγκεντρώνονται σε ένα BBU και ως αποτέλεσμα έχουμε έχουν λιγότερο ενεργό BBUs.

Έχουμε αξιολογήσει το αποτέλεσμα του ανώτατου ορίου έχει στο σύστημά μας, θέτοντας αυτό μέχρι 100%. Εμείς θα συγκρίνουμε τον αριθμό των ενεργών BBUs κάτω από διαφορετικά προφίλ της κυκλοφορίας και διαφορετικά φορτία. Κάτω από το στιγμιότυπο του αντίστοιχα υψηλού φορτίου κυκλοφορίας εμφανίζονται οι ώρες κίνησης στο γραφείο και την κατοικία. Λόγω του γεγονότος ότι σε ένα τυχαίο προφίλ που παράγεται το μοτίβο κίνησης δεν μπορεί να

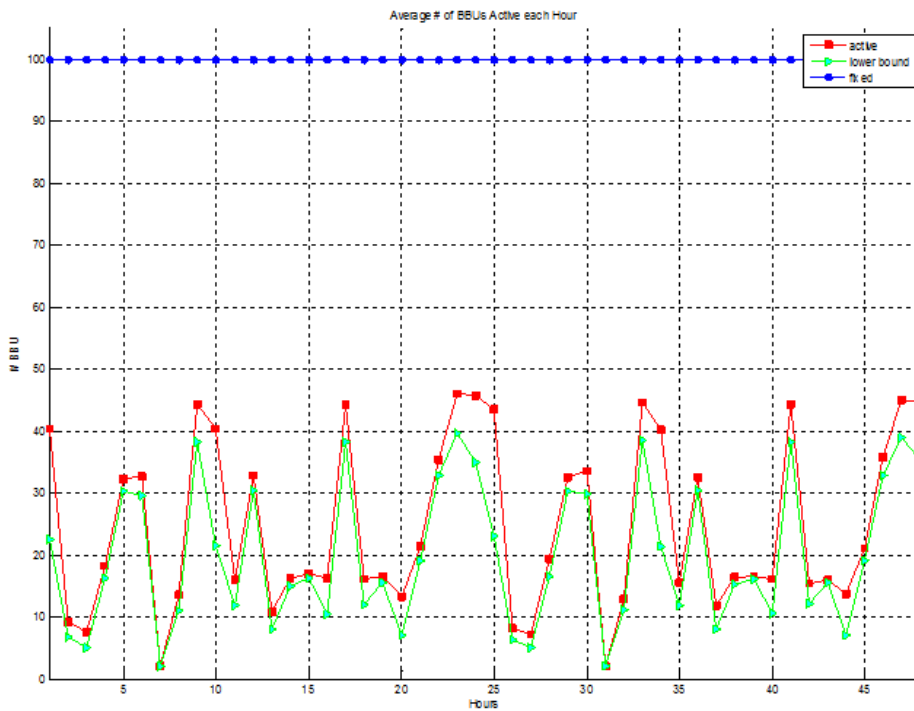
προβλεφθεί, ένας συνοπτικός πίνακας (Πίνακας 5.2) εξάγεται στο τέλος των προσομοιώσεων που δείχνει τη μέση τιμή του συντελεστή ενέργειας σε πάνω από 10 μελέτες για όλα τα σενάρια που εκτελούνται με τη σειρά και συγκρίνονται τα αποτελέσματα.



Μέσος αριθμός μονάδων BBU που ενεργοποιούνται κάθε ώρα για ένα προφίλ κατοικίας.

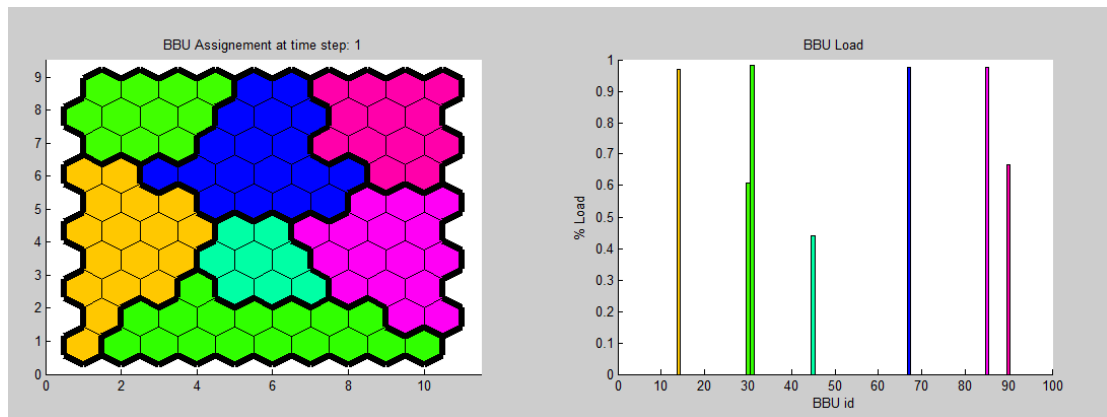


Μέσος αριθμός μονάδων BBU που ενεργοποιούνται κάθε ώρα για ένα προφίλ εργασίας



Μέσος αριθμός μονάδων BBU που ενεργοποιούνται κάθε ώρα για ένα τυχαίο προφίλ.

Εικόνα 5.15: Μέσος αριθμός BBU ενεργών κάθε ώρα.



Εικόνα 5.16: RRH διάταξη και ενεργά BBUs για ελαφρύ φορτίο και συντελεστή ποιότητας =1

5.4.3.1 Ελαφρύ φορτίο

RESIDENCE TRAFFIC PROFILE

Input values

Traffic Load: Light: 2x2 MIMO, 20MHz bandwidth

Traffic Profile: Residence

Quality Threshold: maxBBUThresh=100%

$$EnergyEfficiencyFactor_{res} = \frac{ActiveBBUs}{TotalBBUs} = 0.07$$

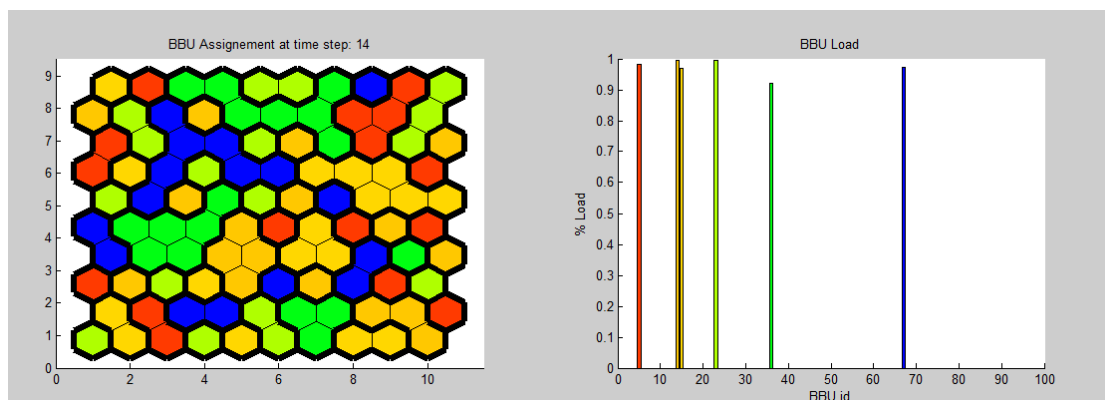
OFFICE TRAFFIC PROFILE

Input values

Traffic Load: Light: 2x2 MIMO, 20MHz bandwidth

Traffic Profile: Office

Quality Threshold: maxBBUThresh=100%



Εικόνα 5.17: RRH διάταξη και ενεργά BBUs για προφίλ γραφείου ελαφρύ φορτίο και συντελεστή ποιότητας =1

$$EnergyEfficiencyFactor_{off} = \frac{ActiveBBUs}{TotalBBUs} = 0.06$$

5.4.3.2 Μεγάλο φορτίο

RESIDENCE TRAFFIC PROFILE

Input values

Traffic Load: Heavy: 4x4 MIMO, 20MHz bandwidth

Traffic Profile: Residence

Quality Threshold: maxBBUThresh=100%

$$EnergyEfficiencyFactor_{res} = \frac{ActiveBBUs}{TotalBBUs} = 0.14$$

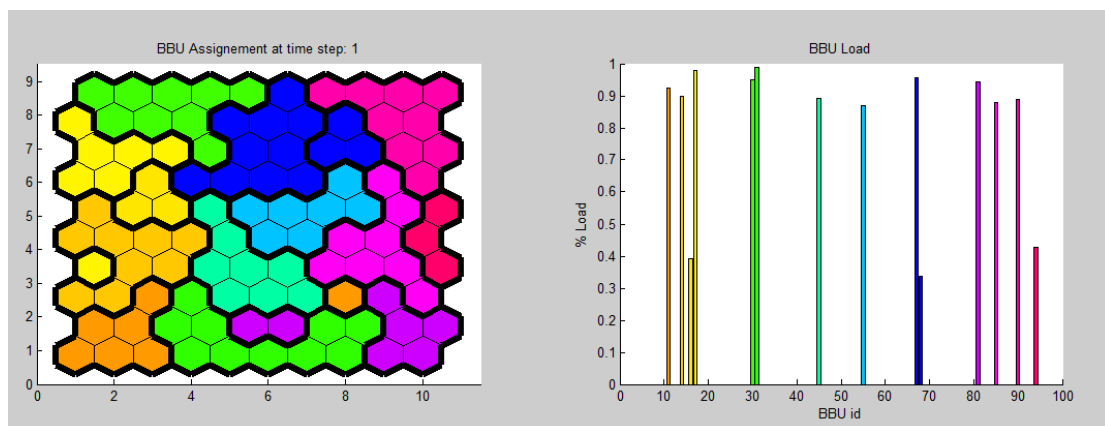
OFFICE TRAFFIC PROFILE

Input values

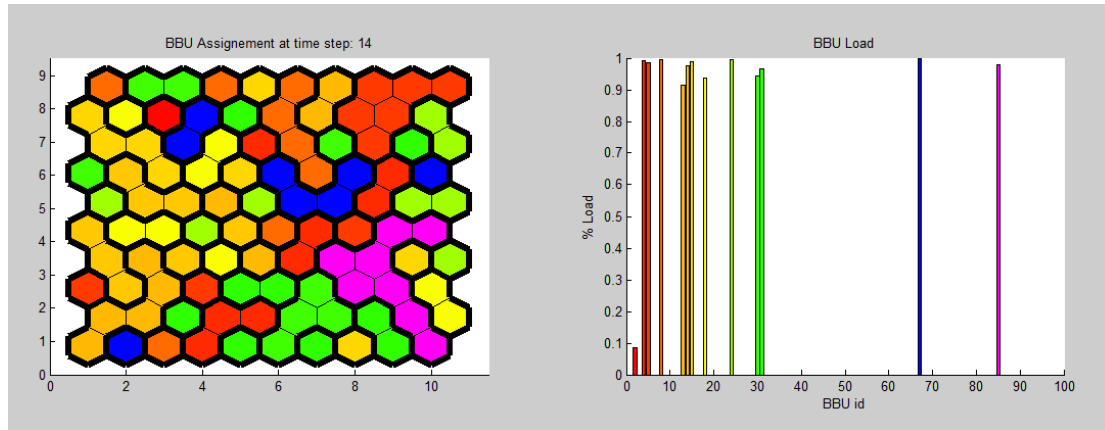
Traffic Load: Heavy: 4x4 MIMO, 20MHz bandwidth

Traffic Profile: Office

Quality Threshold: maxBBUThresh=100%



Εικόνα 5.18: RRH διάταξη και ενεργά BBUs για προφίλ κατοικίας βαρύ φορτίο και συντελεστή ποιότητας =1



Εικόνα 5.19: RRH διάταξη και ενεργά BBUs για προφίλ εργασίας βαρύ φορτίο και συντελεστή ποιότητας =1

Μέχρι στιγμής μπορούμε να δούμε ότι ο Συντελεστής Ενεργειακής Απόδοσης έχει μια μικρή μείωση όταν το ανώτατο όριο του BBU αυξήθηκε έως και 100%.

Τέλος, αξιολογούμε το προτεινόμενο σύστημα μετά από 10 δοκιμές για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς στις προσομοιώσεις μας. Το κατώτερο όριο παραμένει σταθερό και έχει οριστεί σε 30%. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον Πίνακα 5.2, όπου απεικονίζεται η μέση τιμή της ενέργειας συντελεστή απόδοσης.

		Upper Limit			
		0,9	0,9	1	1
		Βαρύ φορτίο	Ελαφρύ φορτίο	Βαρύ φορτίο	Ελαφρύ φορτίο
Traffic Profile	Κατοικίες	0,15	0,08	0,13	0,08
	Εργασία	0,15	0,08	0,14	0,08
	Τυχαίες Θέσεις	0,47	0,24	0,44	0,22

Πίνακας 5.2: Συγκεντρωτικός Πίνακας μέσος συντελεστής Ενεργειακής Απόδοσης Μετά από 10 δοκιμές.

Όπως μπορούμε να δούμε από τον Πίνακα 5.2, όταν θα αυξηθεί το κατώτατο όριο ποιότητας από 0,9 - 1, έχει μικρή επίπτωση στο συντελεστή ενεργειακής απόδοσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, έχουμε μέγιστη μείωση της τάξης του 2% στο συνολικό αριθμό των ενεργών BBUs.

Η σημαντική επίδραση στο σύστημά μας συμβαίνει όταν αλλάζουμε το φορτίο κυκλοφορίας από βαρύ στο ελαφρύ. Ο συνολικός αριθμός των ενεργών BBUs αυξάνεται με συντελεστή 50% ανάλογα με τις διακυμάνσεις του προφίλ κίνησης.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι το κυκλοφοριακό φορτίο έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στον συντελεστή ενεργειακής απόδοσης και κατά συνέπεια στο συνολικό αριθμό των ενεργών BBUs και στο μέγεθος του cluster που διατυπωθεί.

Από την άλλη πλευρά σε σύγκριση με συμβατικές υλοποιήσεις RAN, το μοντέλο μας στην καλύτερη περίπτωση (π.χ. κατοικία, ελαφρύ φορτίο, 0.9) μπορεί να προκαλέσει σχεδόν μία 99% μείωση σε χρήση των πόρων BBUs.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αυτή η διατριβή πρότεινε μια νέα αρχιτεκτονική που έτρεξε για κυψελοειδή συστήματα, που ονομάζεται CRAN. Η C-RAN είναι σε θέση να διαχωρίσει ένα σταθμό βάσης σε ένα BBU και RRHs και δυναμικά να αλλάζουν οι συνδυασμοί των κεντρικών BBUs και RRHs, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με καλώδια οπτικών ινών, σε σχέση με την κυμαινόμενη ζήτηση κυκλοφορίας. Επειδή η ζήτηση της κυκλοφορίας κυμαίνεται δυναμικά για κάθε χρόνο και το φορτίο κυκλοφορίας, η αρχιτεκτονική C-RAN μπορεί να μειώσει δραστικά τον αριθμό των μονάδων baseband λόγω της στατιστικής πολυπλεξίας από τη θέσπιση ενός BBU που μπορεί να συνδεθεί με διάφορες RRHs μέχρι όλοι οι baseband πόροι να έχουν εξαντληθεί. Ως αποτέλεσμα, το C-RAN μπορεί να υλοποιηθεί σε χαμηλό κόστος σε σχέση με τα συμβατικά κυψελοειδή συστήματα. Στην παραδοσιακή περίπτωση αυτή, οι πόροι των μονάδων βασικής ζώνης δεν χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά. Μια άλλη επίδραση της C-RAN είναι να μειωθούν οι παρεμβολές μεταξύ των κυψελών και να αυξηθεί η ποιότητα της σύνδεσης με την εξέταση της κινητικότητας των χρηστών ή / και οι κατανομές των χρηστών κατά τον καθορισμό των συνδυασμών ενός BBU και αρκετών RRHs. Ως πρόχειρη εκτίμηση, υπολογίσαμε τη βέλτιστη επί τοις εκατό μείωση του αριθμού των BBUs από το συνολικό αριθμό των BBUs απαιτείται σε ένα συμβατικό RAN.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1

Κώδικας Matlab

A.1 C_RAN_Switching.m

```

1 clc;
2 close all;
3 clear all;
4 %% #<<--- Load Given Data
5 % Mean percentage load for residential, office and random profiles
6 vMeanENBPercentR = [ linspace(30,75,4) 5 2.5 linspace(2.5,15,5) ones
7 (1,7)*15,...
8 16 linspace(18,30,5)]; % Residential traffic profile
9 vMeanENBPercentO = [6*ones(1,8) linspace(9,30,3) 30*ones(1,5)
10 linspace(30,6,6) 6]; % Office traffic profile
11 BBU_max_load=671; % Max Load each BBU can aggregate in
12 Mbps
13 Peak_eNB_load=129; % Light DL: 150Mbps (UE Category 4, 2x2
14 MIMO, 20MHz bandwidth)
15 %Peak_eNB_load=260; % Heavy DL: 300Mbps (UE category 5, 4x4
16 MIMO, 20MHz bandwidth)
17 %maxRRHPercent = 100*Peak_eNB_load/BBU_max_load; %Deviation around
18 mean
19 maxRRHPercent = 100; %Straightforward assignment
20 vMeanENBPercentRnd = round(rand(1,numel(vMeanENBPercentO))*
21 maxRRHPercent);
22
23 vMeanENBPercent = vMeanENBPercentR; % Choose between three
24 different traffic profiles R-> Residential O-> Office or Rnd-> Random
25 %% #<<--- Simulation Options
26 % # days to run each trial for

```

```

19     nDays = 2; % Number of times (2 days/ 48hours) to repeat the loads
    for a single trial
20     nTimeSteps = nDays*numel(vMeanENBPercent);
21     nTrials=1; % Number of simulation to run, each one will use
    different random Gaussian numbers to generate loads around the mean
22     simSeed = 1000;
23     rng(simSeed); % initialize pseudo rand generator for generating
    simulation data
24 %% # <<--- Result options
25
26 % #<<--- Show additional debug for BBU offloading
    DEBUG = 1;
27
28
29 % #<<--- Inspect with animation
    showAnimation = true; % set to false to hide the animation
30     animationPause = 5; % slow or speed up animation for inspection
31
32
33 % #<<--- Global figure options
    plotTxt = false; % plot the BBU and RRH numbers in the cell figures
34
35
36 % #<<--- Simulation result figures
    % selection of figures showing the results of a single trial
37     plotSimSummary = true; % if running one trial show Fig_End
    % Figure from
38     % "BBU-RRH Switching Schemes for Centralized RAN"
    % averaged over all trials
39     plotSimResult = true; % show Fig_Average
    % show the assignment of BBU's for each trial
40     subPlotCells = true; % show Fig_SubPlotCells
41
42
43 %% #<<--- Other options
    RRHAggregation = 1;
44
45 %% Constants
46 Segment_length = 10; % RAN segment length in Km
47 Cell_radius=0.5; % Cell radius in Km
48
49 Util_up_lim=0.9; % Upper Limit of BBU usage
50 Util_low_lim=0.3; % Lower Limit of BBU usage
51
52
53 if nTrials ~= 1
54     showAnimation = false;
55     plotSimSummary = false;
56 end
57
58 nBBU = Segment_length^2;
59 nRRH = nBBU;
60 vBBUColours = hsv(Segment_length^2);
61 cBoldHandle = cell(1,nRRH);
62
63 % Create a subplot of the RRH to BBU assignment at the end of each

```

```

66 % simulation.
67 if subplotCells
68
69     figCells = figure;
70     % Remove the axis lines
71     axes('Parent',figCells,'YTick',[],...
72         'YColor',[0.945098039215686 0.968627450980392
73         0.949019607843137],...
74         'XTick',[],...
75         'XColor',[0.945098039215686 0.968627450980392
76         0.949019607843137]);
77     nRRPlots = ceil(sqrt(nTrials));
78     nCPlots = ceil(nTrials/nRRPlots);
79
80 end
81
82 %% #<---Record some basic stats
83 % record the amount of timesteps which each BBU is active, ignore time
84 % period zero, where all BBU's have 1 RRH
85 mBBUTimeActive = zeros(nTimeSteps,nBBU);
86 mBBUTimeActivePerTrial = zeros(nTrials,nTimeSteps);
87 mMaxNeighbours = zeros(nTimeSteps,nBBU);
88 mBBULoad = zeros(nTimeSteps,nBBU);
89 mMeanBBULoadPerTrial = zeros(nTrials,nTimeSteps);
90 % for each time step record the size of all BBU clusters.
91 cBBUClusters = cell(nTimeSteps,1);
92 % --->>#
93
94 % RRH - BBU allocation matrix
95 mMapRRHToBBU = sparse(diag(ones(nRRH,1)));
96
97 % Change percentage load to actual load, perform simulation for n 24
98 % hour
99 % periods
100 vMeanENBLoad = repmat(vMeanENBPercent*Peak_eNB_load/100,1,nDays);
101
102 %% Create RAN Segment
103 Rad3Over2 = sqrt(3) / 2;
104 [Y X] = meshgrid(1:1:Segment_length); %Create grid for eNB
105
106 %X,Y:RRHs coordinates
107 n = size(X,1);
108 Y = Rad3Over2 * Y;
109 X = X + repmat([0 Cell_radius],[n,n/2]);
110
111 theta = 0:60:360;
112 Cell_pick=2*Cell_radius/sqrt(3);
113
114 %% #<--- Display start assignment for animation
115 if showAnimation

```

```

113
114     figHandle = figure;
115     h_title = title('Time step: 0');
116     subplot(2,2,1)
117     [vCellHandle, vFillHandle, vBBUTxt] = PlotCells(X,Y, Cell_pick ,theta ,
mMapRRHToBBU,...
118         plotTxt ,vBBUColours);
119     subplot(2,2,2);
120     vBBULoadHandle = PlotBBULoad(zeros(1,nBBU),vBBUColours);
121     subplot(2,2,3);
122     PlotNeighbours(ones(1,nRRH));
123     subplot(2,2,4);
124     [h_nBBU,h_nBBUActive,h_nBBUOptimum] = PlotNActive(nBBU,nBBU,nBBU);
125
126 end
127
128 % For implementation reasons, we ignore the coordinations redudancy and
we keep only 3 digit after comma
129 X=round(X*1e3)/1e3;
130 Y=round(Y*1e3)/1e3;
131
132 %% Run Allocation Algorithm
133
134 [N N_id X_n Y_n mNeighbourSide ]=Find_Neighbors(X,Y, Cell_radius); %
Find Neighboring RRHs
135
136
137 for iTrial = 1:nTrials
138
139     for timeStep = 1:numel(vMeanENBLoad)
140
141         % Change standard deviation according to mean load
142         % Update RRH load for next time step
143         stdDev = vMeanENBLoad(timeStep)/4;
144         vRRHLoad = vMeanENBLoad(timeStep)+stdDev*randn(nRRH,1);
145
146         %<<--- If RRH has been assigned a load greater than Peak_eNB_load
147         % set to Peak_eNB_load
148         IRRHOverMax = vRRHLoad>Peak_eNB_load;
149         if any(IRRHOverMax)
150             vRRHLoad(IRRHOverMax) = Peak_eNB_load;
151         end
152
153         vBBULoad=(vRRHLoad'*mMapRRHToBBU)'/BBU_max_load;
154
155         % #<<--- BBU offloading is done here
156         % offload max first for best results
157         [vBBULoad,mMapRRHToBBU] = OffloadMaxBBU(vBBULoad, Util_low_lim ,
Util_up_lim ,...

```

```

158     N_id, mMapRRHToBBU, vRRHLoad, BBU_max_load, RRHAggregation, DEBUG
159 );
160     [vBBULoad, mMapRRHToBBU] = OffloadMinBBU_v1(vBBULoad, Util_low_lim
161 , Util_up_lim, ...
162     N_id, mMapRRHToBBU, vRRHLoad, BBU_max_load, RRHAggregation, DEBUG
163 );
164     % ---->>#
165     mBBUTimeActive(timeStep, :) = (vBBULoad > 0);
166     mBBULoad(timeStep, :) = vBBULoad';
167     if showAnimation
168         figure(figHandle);
169         subplot(2,2,1);
170         title(['BBU Assignment at time step: ' num2str(timeStep)]);
171         [cBoldHandle, cBBUClusters{timeStep}] = UpdateCells(X, Y,
172     mMapRRHToBBU, plotTxt, vFillHandle, vBBUColours, ...
173     N_id, mNeighbourSide, Cell_pick, cBoldHandle, vBBUTxt);
174         subplot(2,2,2);
175         PlotBBULoad(vBBULoad, vBBUColours, vBBULoadHandle);
176         subplot(2,2,3);
177         PlotNeighbours(cBBUClusters{timeStep});
178         subplot(2,2,4);
179         nOptimum = ceil(sum(vBBULoad)/Util_up_lim);
180         UpdateNActive(nBBU, sum(mBBUTimeActive(timeStep, :)), nOptimum
181 , ...
182     h_nBBU, h_nBBUActive, h_nBBUOptimum);
183         pause(animationPause);
184     end
185 end
186 if subPlotCells
187     figure(figCells);
188     subplot(nRPlots, nCPlots, iTrial);
189     [vCellHandle, vFillHandle, vBBUTxt] = PlotCells(X, Y, Cell_pick, ...
190     theta, mMapRRHToBBU, plotTxt, vBBUColours);
191     UpdateCells(X, Y, mMapRRHToBBU, plotTxt, vFillHandle, vBBUColours, ...
192     N_id, mNeighbourSide, Cell_pick, cell(1, nRRH), vBBUTxt);
193     title(['Trial: ' num2str(iTrial)]);
194 end
195 % Stats for final simulation result
196 mBBUTimeActivePerTrial(iTrial, :) = sum(mBBUTimeActive, 2)';
197 mMeanBBULoadPerTrial(iTrial, :) = ceil(sum(mBBULoad, 2)/Util_up_lim)';
198 end
199
200
201
202

```

```

203 if plotSimResult
204
205     figure;
206     % Plot number of BBU's allocated for each time, show optimum and max
207     vActive = mean(mBBUTimeActivePerTrial,1);
208     vLowerBound = mean(mMeanBBULoadPerTrial,1);
209     vConst = nBBU*ones(timeStep,1);
210     hold on;
211     grid on;
212     title('Average # of BBUs Active each Hour');
213     xlabel('Hours');
214     ylabel('# BBU');
215     axis([1 timeStep 0 nBBU+5]);
216     plot(1:timeStep,vActive,'r','MarkerFaceColor',[1 0 0],'Marker','
square');
217     plot(1:timeStep,vLowerBound,'g','MarkerFaceColor',[0 1 1],'Marker','
>');
218     plot(1:timeStep,vConst,'b','MarkerFaceColor',[0 0 1],'Marker','o');
219     legend('active','lower bound','fixed');
220
221 end
222
223 if plotSimSummary
224
225     figure;
226     % Plot number of BBU's allocated for each time, show optimum and max
227     subplot(2,2,1);
228     vActive = sum(mBBUTimeActive,2);
229     vLowerBound = ceil(sum(mBBULoad,2)/Util_up_lim);
230     vConst = nBBU*ones(timeStep,1);
231     hold on;
232     grid on;
233     title('# of BBUs Active each Hour');
234     xlabel('Hours');
235     ylabel('# BBU');
236     axis([1 timeStep 0 nBBU+5]);
237     plot(1:timeStep,vActive,'r','MarkerFaceColor',[1 0 0],'Marker','
square');
238     plot(1:timeStep,vLowerBound,'g','MarkerFaceColor',[0 1 1],'Marker','
>');
239     plot(1:timeStep,vConst,'b','MarkerFaceColor',[0 0 1],'Marker','o');
240     legend('active','lower bound','fixed');
241
242     % Plot the amount of time each BBU is active
243     subplot(2,2,2);
244     bar(sum(mBBUTimeActive));
245     title('# Hours BBU Active');
246     xlabel('BBU Id');
247     ylabel('Hours');

```

```

248 % Plot the number of times BBU is switched off or on, assume all off
    to start
249 subplot(2,2,3);
250 bar(sum(abs(diff([zeros(1,nBBU);mBBUTimeActive]))));
251 title('Times BBU switches on->off or off->on');
252 xlabel('BBU ID');
253 ylabel('Switches');
254 % Plot the average load for each BBU
255 subplot(2,2,4);
256 bar(mean(mBBULoad));
257 title(['Mean BBU Load over ' num2str(timeStep) ' hours']);
258 xlabel('BBU ID');
259 ylabel('% Load');
260
261 end

```

A.2 OffloadMaxBBU.m

```

1 function [vBBULoad,mMapRRHToBBU] = OffloadMaxBBU(vBBULoad,minBBUThresh,
    maxBBUThresh,mNeighbourIdx,...
2     mMapRRHToBBU,vRRHLoad,maxBBULoad,RRHAggregation,DEBUG)
3
4 % Redistribute RRH's belonging to BBU's with load greater than
    maxBBULoad
5 % Alg overview
6 % While there exists a BBU which is active and has loading greater than
7 % maxBBUThresh, reassigne RRH's from that BBU.
8 % 1) Locate BBU with minimum load
9 % 2) If this BBU is active and current load is greater than maxBBUThresh
    find
10 % indices of RRH's that is serves.
11 % 3) For each RRH served by this BBU, select a BBU to offload to, by:
12 %   a) Find its direct neighbours which are not served by this BBU
13 %   b) Select the BBU from this list of neighbours which currently
    serves
14 %   the most RRH's
15 % 4) If the chosen BBU serves only one RRH
16 %   a) Find the BBU with the highest load which can serve this RRH and
    still
17 %   maintain a load less than maxBBUThresh.
18 %   b) Else allocate this RRH to the BBU if load will not exceed
19 %   maxBBUThresh
20 %   % i) If chosen BBU cannot accomodate RRH loop through
21 %   all BBU's (4a)
22
23 % CHECK
24 % Performance of offloading to max loaded BBU that can accomodate
25

```

```

26 % Check that sum of loads will exceed minimum
27 % Check that no RRH exceeds maximum
28
29 offloaded = 0;
30 offloadBest = 1;
31 chooseMinBBU = 0;
32
33 [maxBBULoadFound, iBBUToOffload] = max(vBBULoad);
34
35 % While the maximum load on any BBU is greater than the maximum
36 % allowable,
37 % and there is a BBU available to take offload to
38 while maxBBULoadFound > maxBBUThresh && ~offloaded
39
40     % RRH's served by this BBU
41     vIRRHToOffload = find(mMapRRHToBBU(:, iBBUToOffload));
42
43     if DEBUG
44         fprintf('\nBBU %i has load:%.2f > %.2f\n', iBBUToOffload, ...
45             vBBULoad(iBBUToOffload), maxBBUThresh);
46     end
47
48     if DEBUG > 1
49         fprintf('RRHs served by BBU %i\n', iBBUToOffload);
50         fprintf('  RRH: %i\n', vIRRHToOffload);
51     end
52
53     % This should not be possible if maxBBULoad exists
54     if isempty(vIRRHToOffload)
55         disp('No RRHs served!');
56         continue;
57     end
58
59     if ~offloadBest
60         iRRH = 0;
61     end
62
63     while vBBULoad(iBBUToOffload) > maxBBUThresh
64
65         % Load of all RRH's assigned to this BBU
66         vBBURRHLoad = vRRHLoad(vIRRHToOffload)/maxBBULoad;
67
68         % Try to make educated choice on which BBU to offload
69         % 1) If there exists a single RRH which can be removed,
70         % resulting in
71         % thisBBULoad <= maxBBUThresh then choose it, otherwise choose
72         % maximum.
73         if offloadBest

```



```

14         minRRHLoad = vBBULoad(iBBUToOffload) - maxBBUThresh;
15         vLoadDiff = vBBURRHLoad - minRRHLoad;
16
17         % If removal of a single RRH will result in thisBBULoad <=
18         maxBBUThresh
19         if max(vLoadDiff) >= 0
20             [~, iRRH] = minGTVal(vLoadDiff);
21
22         else
23             [~, iRRH] = max(vLoadDiff);
24         end
25
26     else
27         % Cycle through each RRH in order
28         iRRH = iRRH + 1;
29
30     end
31
32     thisRRH = vIRRHToOffload(iRRH);
33     thisRRHLoad = vBBURRHLoad(iRRH);
34
35     % Find all BBU's which can accomodate this RRH, excluding this
36     BBU.
37     % Used to remove uneligible BBU's from consideration below,
38     should
39     % simplify checking
40     % a) elivable due to load not exceeding maximum,
41
42     vLIdxEligableBBU = vBBULoad + thisRRHLoad < maxBBUThresh;
43     % b) remove this BBU
44     vLIdxEligableBBU(iBBUToOffload) = 0;
45
46     if DEBUG
47         fprintf( '%i BBUs Eligable to accomodate load of %.2f\n', sum(
48         vLIdxEligableBBU), thisRRHLoad);
49     end
50
51     % Can this RRH be offloaded to any BBU without causing it to
52     have a
53     % load greater than maxBBUThresh
54     if any(vLIdxEligableBBU)
55
56         % Now we have all BBU's which can accomodate load, can
57         concentrate

```

```

118         % on just checking the following in order
119         % a) Type II Neighbours, based on BBU
120         %   i) serving the most RRH's
121         %   ii) with the highest load
122         % b) Type II – with the highest load
123         % c) Type IV Neighbours – zero load so any will do
124
125
126         % <<— # Find Neighbours
127
128         % BBU's that are considered have a single RRU assigned.
129         % Index of neighbouring RRH's
130         vIdxNeighbourRRH = nonzeros(mNeighbourIdx(thisRRH,:));
131         % Index of BBU's serving neighbouring RRH's, in idx order
132         vLIdxBBUServingNeighbour = sum(mMapRRHToBBU(vIdxNeighbourRRH
133         ,:))';
134
135         if DEBUG > 1
136             fprintf('RRH %i has the following neighbours\n',
137             vIRRHToOffload(iRRH));
138             fprintf('  RRH: %2i\n',vIdxNeighbourRRH);
139         end
140         % # —>>
141
142         % We have index of neighbours, therefore just need to check TYPE
143         II
144         % else use TYPE IV
145         vLIdxTypeII = vBBULoad > minBBUThresh;
146         vLIdxTypeIIEligable = vLIdxEligableBBU.*vLIdxTypeII;
147         % Assume all idle BBU's can accommodate an RRH with any load
148         vLIdxTypeIVEligable = vBBULoad == 0;
149
150         if any(vLIdxTypeIIEligable)
151
152             % Multiply to get number of RRH's
153             vIdxBBUOfNeighbour = vLIdxBBUServingNeighbour.*
154             vLIdxTypeIIEligable;
155
156             % Are any BBU's serving neighbouring RRH's eligible
157             for
158                 % offloading this RRH, offload to Type II BBU
159                 if any(vIdxBBUOfNeighbour) && RRHAggregation
160
161                     % Update vLIdxEligable BBU to only include
162                     eligible
163                         % Type II neighbours
164
165                         % Index of all eligible Type II neighbour BBUs,
166                         serving n RRHs

```

```

161                                     % where n is the maximum number of RRHs served
162 by any                                     % neighbour BBU
163                                     vLIdxEligableBBU = vLIdxBBUOfNeighbour==max(
164 vLIdxBBUOfNeighbour);
165                                     if DEBUG > 3
166 at most %i RRHs\n',...                 fprintf('BBUs serving neighbour RRHs serve
167                                     max(vLIdxBBUOfNeighbour));
168                                     end
169                                     if DEBUG
170 neighbour RRH\n');
171                                     fprintf('Offloading to BBU serving direct
172                                     end
173                                     else
174                                     vLIdxEligableBBU = vLIdxEligableBBU &
175 vLIdxTypeII;
176                                     if DEBUG
177                                     fprintf('No neighbours can accomodate load,
178 searching all Type II BBUs\n');
179                                     end
180                                     end
181                                     elseif any(vLIdxTypeIVEligable)
182                                     vLIdxEligableBBU = vLIdxTypeIVEligable;
183                                     if DEBUG
184                                     fprintf('Offloading to idle BBU\n');
185                                     end
186                                     end
187                                     if chooseMinBBU
188                                     % Load of all BBUs which are eligible for choice
189 vLoadEligableBBU = vBBULoad;
190                                     % Choose the eligible BBU with the minimum load
191 [chosenBBULoad, target] = min(vLoadEligableBBU);
192                                     else
193                                     % Load of all BBUs which are eligible for choice
194

```

```

205         vLoadEligableBBU = vBBULoad;
206         vLoadEligableBBU(~vLIdxEligableBBU) = -1;
207
208         % Choose the eligible BBU with the maximum load
209         [chosenBBULoad, target] = max(vLoadEligableBBU);
210
211     end
212
213     if DEBUG > 1
214         fprintf('%i Eligable BBUs for offloading\n', sum(
215             vLIdxEligableBBU));
216         fprintf(' BBU: %i, current load %.2f\n', ...
217             [find(vLIdxEligableBBU) vLoadEligableBBU(
218                 vLIdxEligableBBU)]');
219     end
220
221     [mMapRRHToBBU, vBBULoad] = OffloadRRH(mMapRRHToBBU, ...
222         thisRRH, iBBUToOffload, target, vRRHLoad, ...
223         maxBBULoad);
224
225     % Update RRH's served by this BBU
226     vIRRHToOffload = find(mMapRRHToBBU(:, iBBUToOffload));
227
228     else
229         if DEBUG
230             fprintf('No other BBUs can accomodate this load, THIS
231                 SHOULD NOT HAPPEN!!!\n');
232         end
233
234         fprintf('Current BBU load is %.2f, this cannot be offloaded
235             \n', ...
236                 maxBBULoadFound);
237     %
238     fprintf('Finished offloading BBUs with load less than %.2f
239         \n', ...
240             minBBUThresh);
241     %
242     offloaded = true;
243
244     end
245
246     end
247
248     % New maxBBULoad
249     [maxBBULoadFound, iBBUToOffload] = max(vBBULoad);
250
251 end
252
253 function [minVal, iMin] = minGTval(v, val)
254 % Find the minimum ignoring zero, could sort or use nan

```

```

250
251 % default to zero
252 if nargin < 2
253     val = 0;
254 end
255
256 % nan is ignored in min, set all val in v to nan
257 v(v<=val) = nan;
258
259 % find the min
260 [minVal, iMin] = min(v);
261
262
263 function [mMapRRHToBBU, vBBULoad] = OffloadRRH(mMapRRHToBBU, iRRH,
iBBUFrom, ...
264 iBBUTo, vRRHLoad, maxBBULoad, DEBUG)
265
266 if nargin < 8
267     DEBUG=1;
268 end
269
270 if DEBUG
271     nRRHServed = full(sum(mMapRRHToBBU(:, iBBUTo)));
272     fprintf('Offload to BBU %i, which serves %i RRHs\n', iBBUTo,
nRRHServed);
273     fprintf('RRH: %i, BBU:%i -> BBU: %i\n', iRRH, iBBUFrom, iBBUTo);
274 end
275
276 % Assign thisRRH to target BBU
277 mMapRRHToBBU(iRRH, iBBUTo)=1;
278 % Offload thisRRH from iBBUToOffload
279 mMapRRHToBBU(iRRH, iBBUFrom)=0;
280 vBBULoad=(vRRHLoad'*mMapRRHToBBU)'/maxBBULoad;

```

A.3 PlotBBULoad.m

```

1 function vBBULoadHandle = PlotBBULoad(vBBULoad, vBBUColours,
vBBULoadHandle)
2
3 % BBULoadHandle = bar(vBBULoad);
4 hold on;
5 if nargin ~= 3
6     vBBULoadHandle = zeros(1, numel(vBBULoad));
7     for iBar = 1: numel(vBBULoad)
8         vBBULoadHandle(iBar) = bar(iBar, vBBULoad(iBar));
9         set(vBBULoadHandle(iBar), 'FaceColor', vBBUColours(iBar, :))
10    end
11    axis([0 numel(vBBULoad) 0 1]);

```

```

2     title('BBU Load');
3     xlabel('BBU id');
4     ylabel('% Load');
5 else
6     for iBar = 1:numel(vBBULoad)
7         set(vBBULoadHandle(iBar), 'YData',vBBULoad(iBar))
8     end
9 end

```

A.4 PlotNActive.m

```

1 function [h_nBBU,h_nBBUActive,h_nBBUOptimum] = PlotNActive(nBBU,...
2     nBBUActive,nBBUOptimum)
3
4 % bar([nBBU,nBBUActive,nBBUOptimum]);
5 hold off;
6 h_nBBU = bar(1,nBBU);
7 hold on
8 h_nBBUActive = bar(2,nBBUActive);
9 h_nBBUOptimum = bar(3,nBBUOptimum);
10
11 set(h_nBBU, 'FaceColor', 'r');
12 set(h_nBBUActive, 'FaceColor', 'g');
13 set(h_nBBUOptimum, 'FaceColor', 'b');
14
15 legend([h_nBBU h_nBBUActive h_nBBUOptimum], 'fixed', 'active', 'lower bound
16     ');
17 title('Active BBUs');
18 ylabel('# Active BBUs');

```

A.5 UpdateCells.m

```

1 function [cBoldHandle,vBBUClusters] = UpdateCells(X,Y,mMapRRHToBBU,
2     plotTxt,vFillHandle,vBBUColours,...
3     mIdxNeighbour,mNeighbourSide,circumference,cBoldHandle,vBBUTxt)
4
5 nCells = size(mMapRRHToBBU,1);
6 nBBU = numel(vBBUTxt);
7 nSides = size(mNeighbourSide,2);
8 X = X';
9 Y = Y';
10 cBBU = cell(1,nBBU);
11
12 % hardcoded because of different scan order need changing
13 theta = [120 60 0 300 240 180 120];

```

```

33
34
35 for iCell = 1:nCells
36
37     % #<<--- Update colour in the cell
38     iBBU = find(mMapRRHToBBU(iCell,:));
39     set(vFillHandle(iCell),'FaceColor',vBBUColours(iBBU,:));
40     % --->>#
41
42     % #<<--- Check if neighbours belong to the same BBU
43     % Need to be sorted as mMapRRHToBBU(vNeighbours,:) returns rows in
row
44     % order
45     vNeighbours = mIdxNeighbour(iCell,(mIdxNeighbour(iCell,:)>0));
46     vNeighboursSide = mNeighbourSide(iCell,(mIdxNeighbour(iCell,:)>0));
47     % find scans in column major order, we need the order returned to
48     % correspond to the order in vNeighbours, therefore mMapRRHToBBU
needs
49     % to be scanned in row major order
50     [vIneighbourBBU,~] = find(mMapRRHToBBU(vNeighbours,:));
51     [~, vIneighbourBBU] = find(mMapRRHToBBU(vNeighbours,:));
52     vLIneighbourRRH = vIneighbourBBU==iBBU;
53     vBoldSides = setdiff(1:nSides,vNeighboursSide(vLIneighbourRRH));
54
55     % delete previous BBU separation lines for this cell
56     if ~isempty(cBoldHandle{iCell})
57         delete(cBoldHandle{iCell});
58         cBoldHandle{iCell} = [];
59     end
60
61     % #<<--- Plot bold sides
62     for iSide = 1:numel(vBoldSides)
63         x = X(iCell)+circumference*sind(theta(vBoldSides(iSide):
vBoldSides(iSide)+1));
64         y = Y(iCell)+circumference*cosd(theta(vBoldSides(iSide):
vBoldSides(iSide)+1));
65
66         cBoldHandle{iCell}(iSide) = plot(x, y, 'LineWidth',5, 'Color',[0 0
0]);
67     end
68
69
70     if plotTxt % disable when lot of cells or fig is small
71         txt = ['BBU:' num2str(iBBU)];
72         set(vBBUTxt(iCell),'String',txt);
73     %     text(X(iCell),Y(iCell)-0.15,['BBU:' num2str(iBBU)], 'FontSize
',10,...
74     %         'Color','black','HorizontalAlignment','center');
75     end
76

```

```

87 % #<<-- Get a count of the size of neighbour clusters
88 % if this has neighbours, check if this is in any cell for this BBU,
89 if
90 % so union its neighbours with that cell otherwise get new cell
91
92     iClusterToUpdate = 1;
93     clusterFound = false;
94     nClusters = numel(cBBU{iBBU});
95
96     % If any of these neighbours have already been found then add if
97     % necessary
98     iCluster = 1;
99     while ~clusterFound && iCluster <= nClusters
100         iNeighbour = 1;
101         while ~clusterFound && iNeighbour <= numel(cBBU{iBBU}){
102             iCluster }
103             if any(vNeighbours(vLIneighbourRRH) == ...
104                 cBBU{iBBU}{iCluster}(iNeighbour))
105
106                 iClusterToUpdate = iCluster;
107                 clusterFound = true;
108
109             end
110             iNeighbour = iNeighbour + 1;
111         end
112         iCluster = iCluster + 1;
113     end
114
115     if ~clusterFound
116         cBBU{iBBU} = [cBBU{iBBU} cell(1)];
117         iClusterToUpdate = nClusters+1;
118     end
119
120     if any(vLIneighbourRRH)
121         cBBU{iBBU}{iClusterToUpdate} = ...
122             union(cBBU{iBBU}{iClusterToUpdate}, ...
123                 [iCell vNeighbours(vLIneighbourRRH)]);
124     else
125         cBBU{iBBU}{iClusterToUpdate} = iCell;
126     end
127
128 end
129
130 drawnow
131
132 % get max number of neighbours for each BBU.
133 vNClusters = cellfun(@numel,cBBU);
134 vIActiveBBU = find(vNClusters);

```



```

105 vBBUClusters = zeros(1,nBBU);
106 for iActive = vActiveBBU
107     [vNClusters,~] = cellfun(@size,cBBU{iActive});
108     vBBUClusters(iActive) = max(vNClusters);
109
110
111 end

```

A.6 FindNeighbors.m

```

1 function [N N_id X_n Y_n mNeighbourSide]=Find_Neighbors(X,Y,R)
2
3
4 theta=0:60:300;
5 N=zeros(size(X,1)*size(X,2),1);
6 N_id=zeros(size(X,1)*size(X,2),size(theta,2));
7 X_n=zeros(size(X,1)*size(X,2),size(theta,2));
8 Y_n=zeros(size(X,1)*size(X,2),size(theta,2));
9
10 % Store the vertex which neighbour lies on, used for plotting
11 mNeighbourSide = zeros(numel(X),numel(theta));
12
13
14 t=1;
15 for i=1:size(X,1)
16     for j=1:size(Y,2)
17 % Remove negative coordinates caused by precision of calculations
18     x = round((X(i,j)+(2*R)*cosd(theta))*1e3)/1e3; % remove negative
        numbers
19     y = round((Y(i,j)+(2*R)*sind(theta))*1e3)/1e3;
20
21     for k=1:size(x,2)
22
23
24         [c v]=find(x(k)==X);
25         [a b]=find(y(k)==Y);
26
27
28         % translate to reverse index
29
30     % Given the x and y coordinates of all possible neighbouring
        cells ,
31     % 1) For each possible x
32     % 2) Check if their is a possible y, linear indexing would make
33     % this a lot easier. If so this is a valid neighbour location
34     % 3) N?
35     % 4) mutual index ?

```

```

36 % 5) N_id – each row is a cell and each column contains one of
    its
37 % neighbours id's
38 % 6) X_n, Y_n are the coordinates of this neighbour
39 % 7) t is a linear index
40 for l=1:length(c)
41 % If there is a match at position l in x and y
42 if (isempty(find(c(l)==a,f))==0) && (isempty(find(v(l)==b
    ,1))==0)
43     N(t)=N(t)+1;
44     mutual_indx=find(c(l)==a)==find(v(l)==b);
45     N_id(t,N(t))=((c(l)-1)*size(X,1))+v(l);
46     X_n(t,N(t))=X(c(l),v(l));
47     Y_n(t,N(t))=Y(a(mutual_indx),b(mutual_indx));
48     mNeighbourSide(t,N(t)) = k;
49     end
50 end
51 end
52 t=t+1;
53 end
54 end

```

A.7 OffloadMinBBU.m

```

1 function [vBBULoad,mMapRRHtoBBU] = OffloadMinBBU_v1(vBBULoad,
    minBBUThresh,maxBBUThresh,mNeighbourIdx,...
2     mMapRRHtoBBU,vRRHLoad,maxBBULoad,RRHAggregation,DEBUG)
3
4 % Redistribute RRH's belonging to BBU's with load less than minBBULoad
5 % Alg overview
6 % While there exists a BBU which is active and has loading less than
7 % minBBUThresh, reassigne RRH's from that BBU.
8 % 1) Locate BBU with minimum load
9 % 2) If this BBU is active and minimum load is less than minBBUThresh
    find
10 % indices of RRH's that is serves.
11 % 3) For each RRH served by this BBU, select a BBU to offload to, by:
12 % a) Find its direct neighbours which are not served by this BBU
13 % b) Select the BBU from this list of neighbours which currently
    serves
14 % the most RRH's
15 % 4) If the chosen BBU serves only one RRH
16 % a) Find the BBU with the highest load which can serve this RRH and
    still
17 % maintain a load less than maxBBUThresh.
18 % b) Else allocate this RRH to the BBU if load will not exceed
19 % maxBBUThresh
20 % i) If chosen BBU cannot accomodate RRH loop through

```

```

21 %    all BBU's (4a)
22 % Check that sum of loads will exceed minimum
23 % Check that no RRH exceeds maximum
24
25 offloaded = 0;
26
27 [minBBULoad, iBBUToOffload] = minGTVal(vBBULoad);
28
29 % While the minimum load on any BBU is less than the minimum allowable,
    and
30 % that BBU is not idle redistribute this BBU's RRH's.
31 while minBBULoad < minBBUThresh && minBBULoad ~= 0 && ~offloaded
32
33     % RRH's served by this BBU
34     vIRRHToOffload = find(mMapRRHToBBU(:,iBBUToOffload));
35
36     if DEBUG
37         fprintf('\nBBU %i has load:%.2f < %.2f\n',iBBUToOffload,vBBULoad(
    iBBUToOffload),minBBUThresh);
38     end
39
40     if DEBUG > 1
41         fprintf('    RRHs served by BBU %i\n',iBBUToOffload);
42         fprintf('    RRH: %i\n',vIRRHToOffload);
43     end
44
45     % This should not be possible with minBBULoad ~= 0
46     if isempty(vIRRHToOffload)
47         disp('    No RRHs served!');
48         continue;
49     end
50
51     for iRRH=1:length(vIRRHToOffload)
52
53         thisRRH = vIRRHToOffload(iRRH);
54         thisRRHLoad = vRRHLoad(thisRRH)/maxBBULoad;
55
56         % Find all BBU's which can accommodate this RRH, excluding this
    BBU.
57         % Used to remove uneligible BBU's from consideration below,
    should
58         % simplify checking
59         % a) eligible due to load
60         vLIdxEligableBBU = vBBULoad + thisRRHLoad < maxBBUThresh &
    vBBULoad ~= 0;
61         % b) remove this BBU
62         vLIdxEligableBBU(iBBUToOffload) = 0;
63
64         if DEBUG

```

```

95         fprintf(' %i BBUs Eligable to accomodate load of %.2f\n',
sum(vLIdxEligableBBU),thisRRHLoad);
96         end
97
98         % Can this RRH be offloaded to any BBU without causing it to
have a
99         % load greater than maxBBUThresh
100         if any(vLIdxEligableBBU)
101
102             % BBU's that are considered have a single RRU assigned.
103             % Index of neighbouring RRH's
104             vIdxNeighbourRRH = nonzeros(mNeighbourIdx(thisRRH,:));
105             % Index of BBU's serving neighbouring RRH's, in idx order
106             vLIdxBBUServingNeighbour = sum(mMapRRHToBBU(vIdxNeighbourRRH
,:))';
107
108             if DEBUG > 1
109                 fprintf(' RRH %i has the following neighbours\n',
vIRRHToOffload(iRRH));
110                 fprintf(' RRH: %2i\n',vIdxNeighbourRRH);
111             end
112
113             % Now we have the index of BBUs to consider we can remove
those
114             % which are not eligible
115             vIdxBBUOfNeighbour = vLIdxBBUServingNeighbour.*
vLIdxEligableBBU;
116
117             % Are any BBU's serving neighbouring RRH's eligible for
% offloading this RRH
118             if any(vIdxBBUOfNeighbour) && RRHAgregation
119
120                 % Index of all eligible neighbour BBUs, serving n RRHs
121                 % where n is the maximum number of RRHs served by any
% neighbour BBU
122                 vLIdxEligableBBU = vIdxBBUOfNeighbour==max(
vIdxBBUOfNeighbour);
123
124                 if DEBUG > 3
125                     fprintf(' BBUs serving neighbour RRHs serve at most
%i RRHs\n',...
max(vIdxBBUOfNeighbour));
126                 end
127
128                 if DEBUG
129                     fprintf(' Offloading to BBU serving direct
neighbour RRH\n');
130                 end
131
132             else

```

```

106
107         if DEBUG
108             fprintf(' No neighbours can accomodate load ,
109 searching all BBUs\n');
110         end
111     end
112
113     % Load of all BBUs which are eligible for choice
114     vLoadEligableBBU = vBBULoad;
115     vLoadEligableBBU(~vLIdxEligableBBU) = 0;
116
117     if DEBUG > 1
118         fprintf(' %i Eligable BBUs for offloading\n',sum(
119 vLIdxEligableBBU));
120         fprintf(' BBU: %i, current load %.2f\n',...
121 [find(vLIdxEligableBBU) vLoadEligableBBU(
122 vLIdxEligableBBU)]');
123     end
124
125     % Choose largest eligible BBU
126     [chosenBBULoad, target] = max(vLoadEligableBBU);
127
128     % No BBU's can accomodate this RRH
129     if chosenBBULoad == 0
130
131         fprintf(' None of the BBUs can serve RRH %i — CHECK
132 THIS SHOULD NOT HAPPEN!!!\n',thisRRH);
133
134     else
135
136         [mMapRRHtoBBU, vBBULoad] = OffloadRRH(mMapRRHtoBBU,...
137 thisRRH, iBBUtoOffload, target, vRRHLoad,...
138 maxBBULoad);
139
140     end
141
142     else
143
144         if DEBUG
145             fprintf(' No other BBUs can accomodate this load\n');
146         end
147
148         fprintf(' Finished offloading BBUs with load less than %.2
149 f\n',...
150 minBBUThresh);
151         offloaded = true;
152     end
153
154 end
155
156
157
158
159
160

```

```

131     end
132
133     % New minBBULoad
134     [minBBULoad, iBBUToOffload] = minGTVal(vBBULoad);
135
136 end
137
138
139 function [minVal,iMin] = minGTVal(v, val)
140 % Find the minimum ignoring zero, could sort or use nan
141
142     % default to zero
143     if nargin < 2
144         val = 0;
145     end
146
147     % nan is ignored in min, set all val in v to nan
148     v(v==val) = nan;
149
150     % find the min
151     [minVal,iMin] = min(v);
152
153
154 function [mMapRRHToBBU, vBBULoad] = OffloadRRH(mMapRRHToBBU, iRRH,
155     iBBUFrom,...
156     iBBUTo,vRRHLoad,maxBBULoad,DEBUG)
157
158     if nargin < 8
159         DEBUG=1;
160     end
161
162     if DEBUG
163         nRRHServed = full(sum(mMapRRHToBBU(:,iBBUTo)));
164         fprintf('  Offload to BBU %i, which serves %i RRHs\n',iBBUTo,
165             nRRHServed);
166         fprintf('  RRH: %i, BBU:%i -> BBU: %i\n',iRRH,iBBUFrom,iBBUTo);
167     end
168
169     % Assign thisRRH to target BBU
170     mMapRRHToBBU(iRRH,iBBUTo)=1;
171     % Offload thisRRH from iBBUToOffload
172     mMapRRHToBBU(iRRH,iBBUFrom)=0;
173     %
174     vBBULoad=(vRRHLoad'*mMapRRHToBBU) ./maxBBULoad;
175     vBBULoad=(vRRHLoad'*mMapRRHToBBU) ./maxBBULoad;

```

A.8 PlotCells.m

```

1 function [vCellHandle, vFillHandle, vBBUTxt] = PlotCells(X,Y,
    circumference, theta, ...
2     mMapRRHToBBU, plotTxt, vBBUColours)
3
4 % store handle to each cell outline
5 nCells = numel(X);
6 vCellHandle = zeros(1,nCells);
7 vFillHandle = zeros(1,nCells);
8 vBBUTxt = zeros(1,nCells);
9
10 hold on;
11 axis([0 (max(X(:))+min(X(:))) 0 (max(Y(:))+min(Y(:)))]);
12 X = X';
13 Y = Y';
14
15
16 for iCell = 1:nCells
17
18     %<<--- Plot cell outline
19     x = X(iCell)+circumference*sind(theta);
20     y = Y(iCell)+circumference*cosd(theta);
21     vCellHandle(iCell) = plot(x, y, 'LineWidth',1, 'Color',[0 0 0]);
22     % --->>#
23
24     %<<--- Colour in the cell
25     iBBU = find(mMapRRHToBBU(iCell,:));
26     vFillHandle(iCell) = fill(x,y,vBBUColours(iBBU,:));
27     % --->>#
28
29     if plotTxt % disable when lot of cells or fig is small
30         text(X(iCell),Y(iCell)+0.15,['RRH: ' num2str(iCell)], 'FontSize'
31             ,11,...
32             'Color','black','HorizontalAlignment','center');
33         vBBUTxt(iCell) = text(X(iCell),Y(iCell)-0.15,['BBU: ' num2str(
34             iBBU)], 'FontSize',11,...
35             'Color','black','HorizontalAlignment','center');
36     end
37 end

```

A.9 PlotNeighbours.m

```

1 function PlotNeighbours(vNeighbours)
2
3 maxNeighbours = max(vNeighbours);

```

```

4 counts = hist(vNeighbours(vNeighbours~=0),1:maxNeighbours);
5 bar(counts);
6
7 axis([0 maxNeighbours+1 0 max(counts)]);
8 title('# of RRH neighbours served by a single BBU');
9 xlabel('# of RRH Neighbours');
10 ylabel('# of BBUs');

```

A.10 UpdateNActive.m

```

1 function UpdateNActive(nBBU,...
2     nBBUActive,nBBUOptimum,h_nBBU,h_nBBUActive,h_nBBUOptimum)
3
4 % bar([nBBU,nBBUActive,nBBUOptimum]);
5 set(h_nBBU,'YData',nBBU);
6 set(h_nBBUActive,'YData',nBBUActive);
7 set(h_nBBUOptimum,'YData',nBBUOptimum);
8
9 %legend([h_nBBU h_nBBUActive h_nBBUOptimum],'fixed','active','lower
10 bound');
11 %title('Active BBUs');
12 %ylabel('# Active BBUs');

```