

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε.

Πτυχιακή Εργασία

«Αλγόριθμοι απόδοσης ραδιοπόρων σε δίκτυα τεχνολογίας
OFDMA. Υλοποίηση ενδεικτικού αλγόριθμου σε γλώσσα C.»

Κιρχαντζόγλου Διαμαντής **AM** 0246

Επιβλέπων:

Καθηγητής Εφαρμογών,
Γεώργιος Ασημακόπουλος

Ναύπακτος 2014

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Ναύπακτος, 2014.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Γεώργιος Ασημακόπουλος
2. Βασίλειος Τριανταφύλλου.....
3. Τζήμας Ιωάννης

Περίληψη

Στην πτυχιακή αυτή εργασία παρουσιάζουμε ένα αποκεντρωτικό πλαίσιο για δυναμική φασματική ανάθεση σε πολυκυτταρικά δίκτυα OFDMA. Το προτεινόμενο αυτό πλαίσιο επιτρέπει σε κάθε κύτταρο να επιλέξει αυτόνομα τους πόρους συχνοτήτων που θα χρησιμοποιήσει μέσα από μια διαδικασία που ενσωματώνει έννοιες αυτο-οργάνωσης και μηχανικής εκμάθησης σε συστήματα πολλών πρακτόρων. Συντάχθηκε κώδικας σε γλώσσα C ο οποίος αφού τρέξουμε το σενάριο με τα Macrocells μας φέρνει αποτελέσματα και δείχνει σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με την φασματική αποδοτικότητα και την μείωση της ενδοκυτταρικής παρεμβολής. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας επίσης δείχνουν ότι αυτό το πλαίσιο θα ήταν πρακτικό για μελλοντικές Femtocells αναπτύξεις όπου υψηλός βαθμός ανεξαρτησίας των κόμβων του δικτύου είναι αναγκαίος για να μειωθούν τα λειτουργικά κόστη. Ο κώδικας μας αποτελείται από μια κύρια συνάρτηση στην οποία και δημιουργούμε εικονικά το πλέγμα στο οποίο θα δουλέψουμε και από άλλες δυο συναρτήσεις που αποσκοπούν στην εκμάθηση των κυττάρων και στην φασματική ανάθεση σε αυτά. Η κάθε μια από αυτές έχει επιμέρους συναρτήσεις που βοηθάνε να υλοποιηθεί το πρόγραμμα. Ακόμα ασχολούμαστε με το σενάριο με τα macrocells και το μη επικοινωνιακό μοντέλο στο οποίο η φασματική ανάθεση των γειτονικών κυττάρων υπολογίζεται από τις μετρήσεις των χρηστών, ένα μοντέλο το οποίο είναι δυνατό να εφαρμοσθεί στα περισσότερα σενάρια καθώς υπάρχουν αναφορές μετρήσεων από τους χρήστες.

Abstract

In this paper we present you a decentralized framework for dynamic spectrum assignment in OFDMA multicellular networks. This proposed framework for dynamic spectrum assignment allows each cell to autonomously decide the frequency resources it should use through a procedure that incorporates concepts like self-organization and machine-learning in multiagent systems (MAS). An algorithm in C is written who returns us results which let us see some important improvements in terms of spectral efficiency and intercell interference mitigation. Results also suggest that the framework would be practical for future FC cellular deployments where a high degree of independence of the network nodes is expected to reduce operational costs. This code has a main function which creates the gridline to work on it and two more functions to implement the procedure of machine learning and spectral assignment. Each one has some other functions to make some computations for it. In this Thesis we focus on the scenario with Macrocells and furthermore in the non-communicative model, a model that is easily applied in most scenarios as user measurements help on spectral assignment.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Περίληψη.....	4
2. Abstract.....	5
3. Κεφάλαιο 1 ^ο – Εισαγωγή.....	7
4. Κεφάλαιο 2 ^ο – Κυτταρικά Δίκτυα.....	9
i. Ικανότητα επαναχρησιμοποίησης.....	9
ii. Οι δυο κατηγορίες κυττάρων.....	10
iii. Δομή ενός απλού κυτταρικού δικτύου.....	11
5. Κεφάλαιο 3 ^ο – Εικόνα κυτταρικών δικτύων.....	12
i. Η λειτουργία τους και το κύριο πρόβλημα.....	12
ii. Μια προτεινόμενη επίλυση για το πρόβλημα.....	15
6. Κεφάλαιο 4 ^ο – Αποκεντρωτικό πλαίσιο.....	18
i. Ανάλυση του αποκεντρωτικού πλαισίου.....	18
ii. Εκτέλεση φασματικής ανάθεσης και μοντέλα.....	20
7. Κεφάλαιο 5 ^ο – Ελεγκτής φασματικής ανάθεσης.....	21
i. Περιγραφή.....	21
ii. Status observer.....	22
iii. RL-DSA.....	22
i. RL-DSA.....	22
ii. Τρόπος λειτουργίας.....	23
iv. Cell characterization Entity.....	27
8. Κεφάλαιο 6 ^ο – Εξομοίωση.....	29
i. Πίνακας παραμέτρων υλοποίησης.....	29
ii. Το σενάριο υλοποίησης.....	30
iii. Οι συναρτήσεις.....	32
9. Αποτελέσματα – Συμπεράσματα.....	34
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	41

Κεφάλαιο 1.Εισαγωγή

Το πιο κοινό παράδειγμα ενός κυτταρικού δικτύου είναι ένα δίκτυο κινητών τηλεφώνων.Ένα κινητό τηλέφωνο αποτελεί μια κινητή συσκευή τηλεφώνου η οποία λαμβάνει και στέλνει κλήσεις μέσω ενός κεντρικού σταθμού (Base Station), η ενός πύργου αναμετάδοσης. Μεγάλες γεωγραφικές περιοχές (ανάλογα με την γεωγραφική κάλυψη του παρόχου) μπορούν να χωριστούν σε μικρότερα κύτταρα για να αποφύγουμε την απώλεια σήματος και τον μεγάλο αριθμό από ενεργές συσκευές στην περιοχή. Κάθε κύτταρο χρησιμοποιεί ένα σετ διαφορετικών συχνοτήτων από τα γειτονικά του για να αποφύγει την παρεμβολή και να παρέχει καλύτερο bandwidth εντος αυτού. Στις πόλεις, κάθε |BS| έχει βεληνεκές έως περίπου στα 0,804 χιλιόμετρα, ενώ σε αγροτικές περιοχές το βεληνεκές μπορεί να φτάσει τα 8,04 χιλιόμετρα. Πολλές φορές σε ανοιχτές καθαρές και μεγάλες περιοχές ένας χρήστης μπορεί να δεχθεί σήμα από δορυφόρο που βρίσκεται ακόμα και 40 χιλιόμετρα μακριά. Όλα αυτά τα |BS| συνδέονται πάνω σε “switches” για κυτταρικά δίκτυα που αυτά με τη σειρά τους συνδέονται σε ένα δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο ή σε ένα άλλο “switch” μιας εταιρείας.

Καθώς μια κινητή συσκευή μεταφέρεται από ένα κύτταρο σε ένα άλλο τότε το “switch” αυτόματα παρέχει δυνατότερο σήμα για να γίνει η αλλαγή των ραδιοπόρων.

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες ψηφιακών κυτταρικών δικτύων όπως οι:

- GSM (Global System for Mobile Communications)
- GPRS(General Packet Radio Service)
- CDMA(Code Division Multiple Access)
- EV-DO(Evolution Data Optimized)
- EDGE(Enhanced Data rates for GSM Evolution)

- DECT(Digital Enhanced Cordless Telecommunications)

οι οποίες είναι κάποιες από αυτές.

Τα παλιά συστήματα με προγενέστερα κυτταρικά πρότυπα μπορεί να υπάρχουν ακόμα σε χρήση σε κάποια μέρη η καλύτερα σε κάποιες εφαρμογές. Το πιο αξιοσημείωτο χρησιμοποιείται από πολλούς ερασιτεχνικά οι οποίοι κρατούν επικοινωνία μέσα σε πολύ περιορισμένης εμβέλειας χώρους. (VHF repeaters)

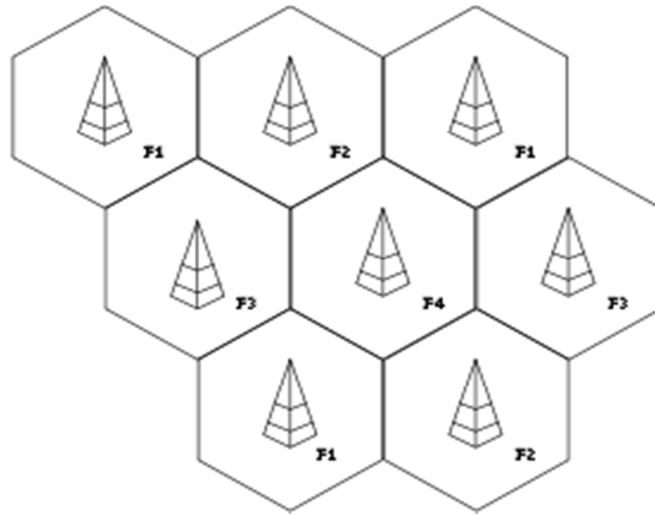
Κεφάλαιο 2. Κυτταρικά δίκτυα

2.i. Ικανότητα επαναχρησιμοποίησης

Το κύριο χαρακτηριστικό των κυτταρικών δικτύων είναι η ικανότητα που έχουν να ξαναχρησιμοποιούν συχνότητες για να αυξήσουν την περιοχή κάλυψης τους καθώς και την χωριτικότητα τους. Τα γειτονικά κύτταρα πρέπει όπως αναφέρθηκε να χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες προκειμένου να μην υπάρχει παρεμβολή και να αυξάνεται το bandwidth τους, παρ'ότι αυτά δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα για δυο κελιά που έχουν επαρκή απόσταση μεταξύ τους να λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Τα στοιχεία που προσδιορίζουν την επαναχρησιμοποίηση μιας συχνότητας είναι η Απόσταση επαναχρησιμοποίησης (D) και ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης. Η απόσταση υπολογίζεται από τον τύπο:

$$D = R\sqrt{3N},$$

όπου το R είναι η ακτίνα του κυττάρου και N είναι ο αριθμός των κυττάρων σε κάθε συγκρότημα. Παραδείγματος χάρη όταν ένα κινητό τηλέφωνο αλλάζει κύτταρα μέσα σε μια πόλη αυτό δεν σημαίνει ότι απαραίτητα θα πέσει στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας αλλά αυτό επίσης δεν σημαίνει ότι σε κύτταρα διπλανής πόλης αυτή η συχνότητα δεν επαναχρησιμοποιείται. Ένα παράδειγμα FR απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα [σχήμα 1].

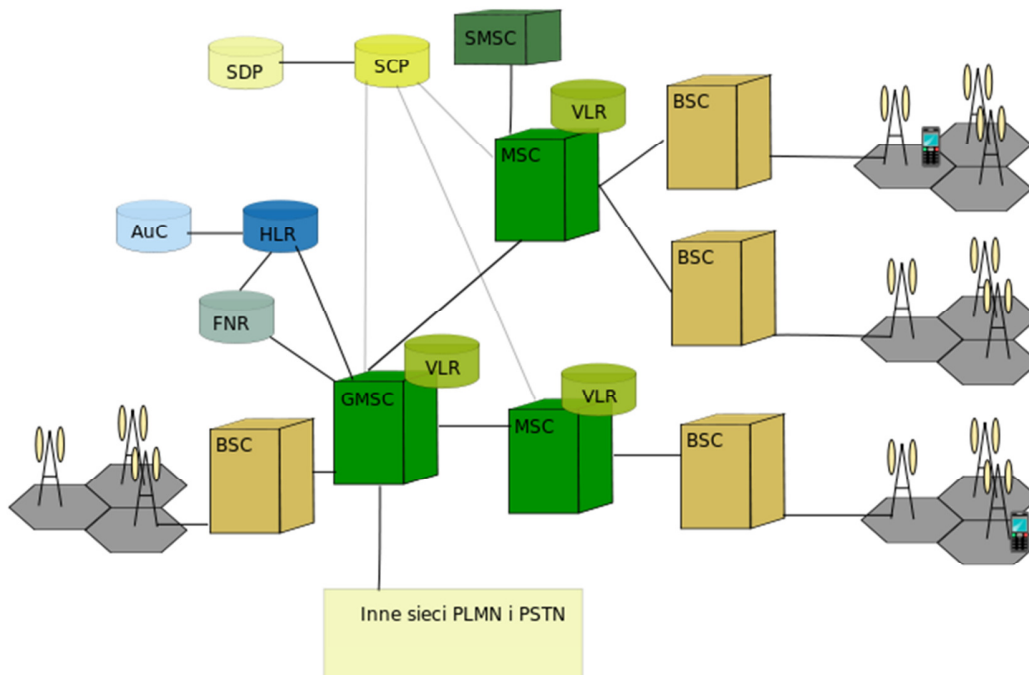


Σχήμα 1. Παράδειγμα FR.

2.ii. Τύποι κυττάρων στα κυτταρικά δίκτυα

Υπάρχουν δυο ειδών κύτταρα όσον αφορά την συγκεκριμένη έρευνα μας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα κυτταρικό δίκτυο.

- **Macrocells (MC):** Πρόκειται για μεγάλα κύτταρα που παρέχουν κάλυψη σε δύσκολα μέρη που οι χρήστες είναι πολύ αραιά τοποθετημένοι.
- **Femtocells (FC):** Πρόκειται για κύτταρα μικρού βεληνεκούς που χρησιμοποιούνται σε μέρη που οι χρήστες είναι πυκνά τοποθετημένοι.



Σχημα 2. Δομή ενός κυτταρικού δικτύου

2.iii. Δομή ενός απλού κυτταρικού δικτύου

Μια απλή όψη σε ένα κυτταρικό δίκτυο κινητης τηλεφωνίας μας δείχνει οτι αυτό αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Ένα δίκτυο από IBSI
- Τον πυρήνα του δικτύου που κρατάει φωνητικές κλήσεις και κείμενα
- Ένα δίκτυο ανταλλαγής πακέτων για να κρατάει τα δεδομένα των κινητών
- Το κοινό τηλεφωνικό δίκτυο για να συνδέει τους χρήστες

Ένα παράδειγμα αυτής της δομής είναι και το GSM που θα το δούμε στο σχήμα [σχήμα 2] παραπάνω.

Κεφάλαιο 3. Εικόνα κυτταρικών δικτύων

3.1. Λειτουργία και το κύριο πρόβλημα

Τα κινητά κυτταρικά δίκτυα είναι δύσκολο να διαχειριστούν και απαιτούν πολύ ανθρώπινη παρέμβαση. Διαδικασίες όπως η ανάθεση πόρων φάσματος σε MC είναι δύσκολο να γίνουν επειδή διαχειριστικά κύτταρα που καλύπτουν μεγάλο εύρος δικτύου, βγαίνουν εκτός λειτουργίας κατά την ανάπτυξη του δικτύου. Τότε η φασματική ανάθεση παραμένει αναλλοίωτη μέχρι μια νέα υποδομή να προστεθεί στο σύστημα και ένα κουραστικό χειροκίνητο πλάνο συχνοτήτων να επαναληφθεί. Αυτό ισχύει και για την περίπτωση των επόμενων γενεών κυτταρικών κινητών δικτύων όπως το 3GPP (Third Generation Partnership Plan) (LTE) ή το IEEE 802.16e (Mobile Wimax) των οποίων οι πόροι πρόσβασης στο δίκτυο καθοδικής ζεύξης βασίζονται στο OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Το OFDMA διαχωρίζει ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων σε μικρότερες δέσμες εύρους ζώνης που ονομάζονται chunks και κατανέμονται σε διαφορετικά κύτταρα. Προετοιμάζοντας το πλάνο των συχνοτήτων, ο χειριστής του δικτύου αποσκοπεί στην μεγαλύτερη ζήτηση οπουδήποτε εντός της περιοχής εξυπηρέτησης και παράλληλα στην μείωση της ενδοκυτταρικής παρεμβολής (είναι η παρεμβολή που προκαλείται μεταξύ τους όταν δυο ή περισσότερα γειτονικά κύτταρα χρησιμοποιούν την ίδια δεσμίδα συχνοτήτων). Συνήθως διαφορετικοί συντελεστές επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων (FRF strategy) [2] αναπτύσσονται όπου το φάσμα διανέμεται ανάμεσα σε MCs με βάση ένα στατικό πρότυπο. Επιπροσθέτως έχει αποδειχθεί [3] ότι η απόδοση του σφαιρικού δικτύου μπορεί να βελτιωθεί τεμαχίζοντας το φάσμα ανάλογα με

την απόσταση των χρηστών από τα MCs. Τότε πολλές προτάσεις για να διευθετηθεί ο διαχωρισμός ανάμεσα σε μια κεντρική και μια ακριανή υποδεσμίδα έχουν προταθεί, όπου μια από τις πιο αντιπροσωπευτικές ονομάζεται Partial-frequency reuse PR [4]. Όμως είτε η FRF είτε η PR στρατηγική ανάθεσης φάσματος μπορεί να είναι ξεκάθαρα ανεπαρκής σε απαιτήσεις που η κυκλοφορία διαφοροποιείται [5], οδηγώντας σε ανεπαρκή αξιοποίηση του φάσματος σε κάποια κύτταρα και σε έλλειψη φασματικών πόρων σε άλλα.

Επιπλέον, η τάση που επικρατεί στα κυτταρικά δίκτυα είναι να αποκεντρώνουν το έργο της φασματικής ανάθεσης [6],[7]. Αυτό είχε κυρίως τεθεί σε λειτουργία από 1) την τάση να εμπλουτιστούν οι δυνατότητες διαχείρισης ραδιοπόρων στα MC προκειμένου να μειωθούν τα λειτουργικά κόστη του δικτύου και 2) τον ερχομό νέων κυτταρικών αναπτύξεων βασισμένων στα FC. Αυτά είναι μικρού βεληνεκούς, ανεπτυγμένοι από χρήστες, βασικοί σταθμοί που βρίσκονται σε τυχαίες τοποθεσίες [8] και απαιτούν ένα μεγάλο βαθμό αυτονομίας χάρη στην ανεξάρτητη φύση τους. Τότε η φασματική διαχείριση στα FC του OFDMA είναι ένα έργο πρόκληση όπου διαφορετικά ενδεχόμενα είναι ανοιχτά [9], κυρίως όταν τα FC λειτουργούν κάτω από την κάλυψη μιας MC ανάπτυξης. Ως εκ τούτου ο ορθογωνικός διαχωρισμός του φάσματος μπορεί να γίνει για να αποφύγουμε την παρεμβολή ανάμεσα στα FC και τα MC. Σ αυτήν την περίπτωση, τα MC και τα FC λειτουργούν σε διαφορετικά κομμάτια προκειμένου να αποφύγουν αυτήν την παρεμβολή αλλά παράλληλα σε κόστος που θα μειώνει την διαθέσιμη χωριτικότητα. Από την άλλη πλευρά οι δημιουργοί του [10] προτείνανε μια υβριδική σκηνή όπου βασιζόμενοι στην θέση του FC, αυτό έχει πρόσβαση σε ένα ορθογωνικό ή συνεργαζόμενο κομμάτι φάσματος, π.χ. τα MC και

FC επίπεδα θα μπορούσαν να μοιράζονται την ίδια φασματική δέσμη, έτσι ώστε η ενδοκυτταρική παρεμβολή ανάμεσα τους να εγερθεί.

Όμως αυτή η εκδοχή χρειάζεται να τοποθετήσει FCs ανάμεσα σε MC με σαφή επικοινωνία ανάμεσα τους. Τέλος η φασματική διαχείριση των FC σε σχέση με τα άλλα FC είναι επίσης ένα σημαντικό έργο επειδή σε σενάριο με μεγάλη πυκνότητα από FC, η παρεμβολή μεταξύ τους δεν μπορεί να παραμεληθεί εξαιτίας της εγγύτητάς τους. Σ αυτήν την περίπτωση μια διαφορετική προσέγγιση [9] που καλείται FRSx, που αποτελείται από τον διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος σε x ίσα κομμάτια έτσι ώστε τα FCs να διαλέξουν τυχαία ένα για να λειτουργήσουν αφού ενεργοποιηθούν. Τότε, η φασματική διαχείριση είναι απλή και αυτόνομη αλλά μπορεί να απέχει πολύ από την βέλτιστη.

Οι στρατηγικές για την συγκεντρωτική φασματική ανάθεση επικεντρώνουν τα καθήκοντα απόφασης σε ένα συγκεντρωτικό χειριστή με σφαιρική γνώση της κατάστασης του κυτταρικού δικτύου. Από την άλλη οι αποκεντρωτικές εκδοχές παρέχουν 1) ελαστικότητα επειδή μπορούν να προσαρμοστούν σε μια μεγάλη ποικιλία σεναρίων χωρίς να έχουν να αναπτύξουν μια συγκεντρωτική στρατηγική, 2) επεκτασιμότητα, διατηρώντας σταθερές τις υπολογιστικές απαιτήσεις και τις απαιτήσεις σηματοδότησης με ένα αυξανόμενο αριθμό κυττάρων και 3) ευρωστία, εφόσον η αποκεντρωτική στρατηγική αποφεύγει την ανάγκη ενός κεντρικού χειριστή που αποτελεί ένα απλό σημείο αποτυχίας. Όμως, υπάρχουν ανοιχτά ερωτήματα όσον αφορά την αποκεντρωτική διαχείριση όπως πόσο κοντά μπορεί να είναι η απόδοση του αποκεντρωτικού συστήματος σε αυτήν του

συγκεντρωτικού (έχοντας υπ όψιν ότι η κάθε οντότητα έχει μόνο μια μερική γνώση της κατάστασης του κυτταρικού δικτύου) ή πώς οι διάφορες οντότητες της αυτο-οργάνωσης μπορούν να πετύχουν μια σταθερή λύση.

Από την προοπτική του χειριστή, θα ήταν επιθυμητό μια αποκεντρωτική στρατηγική για φασματική ανάθεση να περιέχει αυτόματους μηχανισμούς στις δικτυακές διαδικασίες. Τότε, η φασματική ανάθεση θα μπορούσε να προσαρμοστεί δυναμικά σε χρονικές και διαστημικές ανάγκες του φόρτου της κυκλοφορίας σε ένα ίδιο χρόνο όπου οι μειώσεις των λειτουργικών δαπανών και των δαπανών κεφαλαίου επιτυγχάνονται [11].

3.ii. Μια προτεινόμενη επίλυση για το πρόβλημα μας

Σ αυτήν την έρευνα, προσεγγίζουμε το πρόβλημα της αποκεντρωτικής φασματικής ανάθεσης σαν ένα έργο εκμάθησης σε MAS [13]. Αυτή η προσέγγιση είναι χρήσιμη σε σενάριο όπου διάφορες οντότητες επιδιώκουν διαφορετικούς η ακόμα και αντιφατικούς στόχους. Αυτή είναι η περίπτωση του προβλήματος φασματικής ανάθεσης σε κυτταρικά δίκτυα , όπου η ενδοκυτταρική παρεμβολή προυποθέτει μια σύγκρουση ανάμεσα στα κύτταρα. Εδώ , κάθε κύτταρο συμπεριφέρεται σαν ένας αυτόνομος πράκτορας που εκτελεί έναν αλγόριθμο ενισχυτικής εκμάθησης για να αποφασίσει για την καλύτερη φασματική ανάθεση του βασισμένο στις πληροφορίες γενικού πλαισίου που αποκομίζει από το περιβάλλον του. Αυτές οι πληροφορίες γενικού πλαισίου περιλαμβάνουν μερική γνώση της επιλογής της φασματικής ανάθεσης που κάνουν τα άλλα κύτταρα έτσι ώστε, αν και η εκμάθηση τοποθετείται σε κάθε κύτταρο , επηρεάζεται από

τις αποφάσεις των άλλων πρακτόρων αποτελώντας μια φόρμα εκμάθησης σε MAS [14]. Άλλες προσεγγίσεις αποσκοπούν σε μια σφαιρική κοινή εκμάθηση για τους πράκτορες στα MAS [15] ή στην ύπαρξη μιας συντονισμένης οντότητας που συνεπάγεται στο έργο εκμάθησης για ένα σετ πρακτόρων [16], αλλά είναι ένα ανοιχτό ερώτημα το αν η τοπική ή η σφαιρική εκμάθηση είναι καλύτερη που εξαρτάται από το συγκεκριμένο πρόβλημα που καλούμαστε να επιλύσουμε [14].

Η δουλειά μας σ αυτήν την έρευνα επεκτείνει την προηγούμενη στο [17] που παρουσίασε μια προκαταρκτική έκδοση της αποκεντρωτικής προσέγγισης. Όμως, η δουλειά που έγινε στο [17] δεν είχε λάβει υπ όψιν μελλοντικές αναβαθμίσεις σε κινητά δίκτυα όπως την πιθανότητα ενδοκυτταρικών διεπαφών σηματοδότησης μεταξύ κυττάρων ή τις στρατηγικές προγραμματισμού πακέτων με βάση την γνώση των καναλιών.

Από την άλλη πλευρά δυο νέες υλοποιήσεις για την αποκεντρωτική φασματική ανάθεση παρουσιάζονται σ αυτήν την έρευνα, 1) η επικοινωνιακή σκηνη και 2) η μη επικοινωνιακή σκηνή φασματικής ανάθεσης, που βασίζονται στο αν υπάρχει επικοινωνία η όχι ανάμεσα στα γειτονικά κύτταρα. Επιπλέον η RL-DSA στρατηγική που παρουσιάζεται στο [18] έχει υιοθετηθεί για να εκτελεσθεί ανεξάρτητα από κάθε κύτταρο για να προσδιορίσει το φάσμα που έχει χρησιμοποιήσει. Ξεκάθαρα αυτή η προσέγγιση θα μπορούσε να γίνει δυσχρηστη με την δημιουργία νέων κυτταρικών αναπτύξεων βασισμένων στα FC. Η προτεινόμενη σκηνή εκθέτει μια ανώτερη απόδοση σε στρατηγικές φασματικής ανάθεσης, και μια κλειστή απόδοση στην συγκεντρωτική προσέγγιση λαμβάνοντας υπ όψιν ότι τα κύτταρα στην αποκεντρωτική προσέγγιση κρατούν περιορισμένες

πληροφορίες συγκριτικά με τον συγκεντρωτικό χειριστή. Επίσης η καλύτερη επεκτασιμότητα της αποκεντρωτικής προσέγγισης συγκριτικά με την συγκεντρωτική έχει ποιοτικά αναλυθεί.

Στον ακόλουθα κεφάλαια παρουσιάζεται η λειτουργία του προτεινομένου πλαισίου. Πιο μετά παρουσιάζεται το CCE το οποίο είναι ένα λειτουργικό μπλόκ σε κάθε κύτταρο όπου το RL-DSA εκτελείται. Εκεί μια λεπτομερής περιγραφή των εσωτερικών διαδικασιών του χειριστή δίνονται.

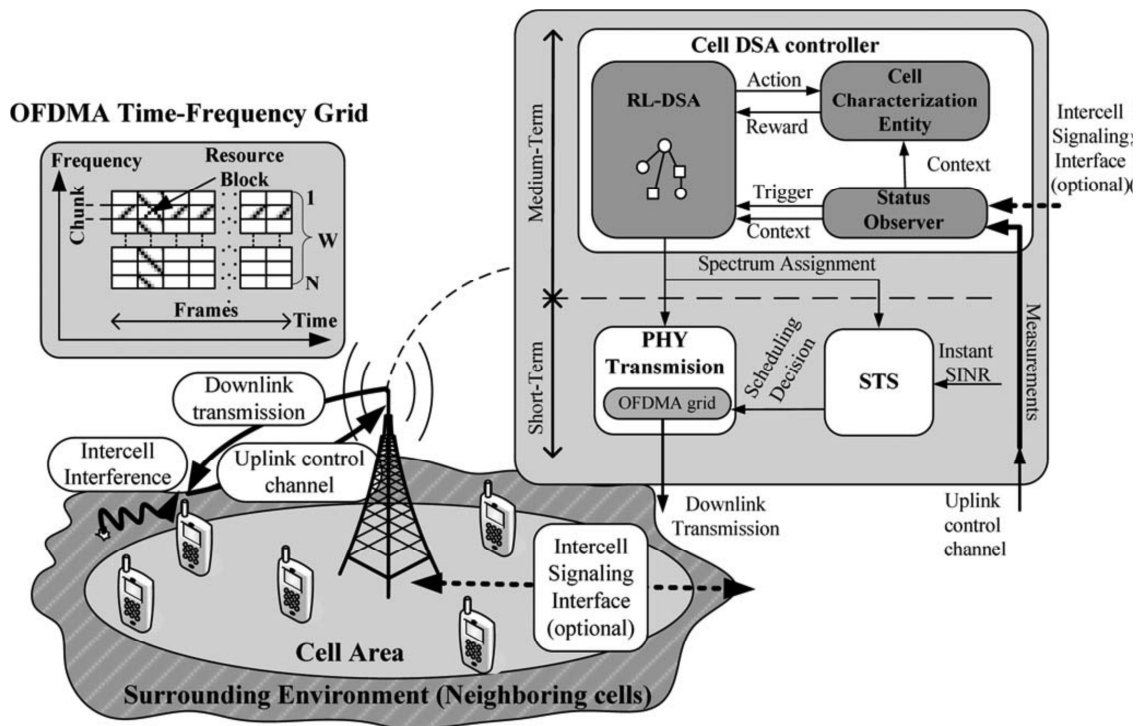
Κεφάλαιο 4. Αποκεντρωτικό πλαίσιο

4.i. Ανάλυση του αποκεντρωτικού πλαισίου

Θεωρούμε ένα αποκεντρωτικό πλαίσιο όπως το [Σχήμα 3], όπου κάθε κύτταρο MC ή FC αποτελεί έναν ανεξάρτητο πράκτορα που εκτελεί αυτόνομα αποφάσεις φασματικής ανάθεσης με σκοπό να βελτιώσει το SINR (signal to interference plus noise ratio) καθώς επίσης θα εγγυάται για την ποιότητα υπηρεσίας QOS του χρήστη. Στο ακόλουθο εστιάζουμε σε ένα απλό κύτταρο. Υποθέτοντας ότι το κύτταρο έχει U χρήστες $\{1, \dots, u, \dots, U\}$. Μια γενικευμένη ραδιο-διεπαφή OFDMA χρησιμοποιείται για ζεύξη καθόδου για τις μεταδόσεις δεδομένων των χρηστών όπου ένα κοινό εύρος ζώνης συστήματος W για την περιοχή λειτουργίας χωρίζεται σε N chunks $\{1, \dots, n, \dots, N\}$. Κάθε chunk είναι μια ομάδα συνεχόμενων subcarriers με εύρος ζώνης $B=W/N$. Ακόμα ο χρόνος είναι χωρισμένος σε frames. Η ελάχιστη ανάθεση κάποιου μπλόκ ραδιοπόρων σε χρήστη είναι 1 chunk/frame. Από την άλλη πλευρά υπάρχει ένα κανάλι ελέγχου για την ζεύξη ανόδου όπου οι χρήστες στέλνουν στιγμιαία (frame-by-frame) αναφορές μετρήσεων από τις οποίες το SINR σε διάφορα chunks μπορεί να αποκομιστεί. Αυτές οι αναφορές είναι αναγκαίο να εκτελέσουν προσαρμογή ζεύξεων για κάθε δημιουργημένη επικοινωνία από την ζεύξη καθόδου σε σχέση με μια επαρκή διαμόρφωση και με ένα σχέδιο βαθμού κωδικοποίησης για ένα SINR που χει δωθεί για ένα συγκεκριμένο frame.

Η λειτουργία του κυττάρου έχει δυο φάσεις. Στην πρώτη φάση το κύτταρο κρατάει το φόρτο των χρηστών και εκτελεί μια γρήγορη προσαρμογή ζεύξεων αξιολοθώντας μια στρατηγική που

ονομάζεται PF [19]. Στην δεύτερη φάση γίνεται η φασματική ανάθεση. Πιο συγκεκριμένα κάθε κύτταρο προσπαθεί να μάθει την καλύτερη φασματική ανάθεση εκτελώντας το RL-DSA αλγόριθμο σε μια περίοδο εκτέλεσης L frames. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι το RL-DSA τρέχει σε κάθε κύτταρο υποθέτοντας ότι η φασματική ανάθεση σε γειτονικά κύτταρα δεν ποικίλει κατά την διάρκεια της εκτέλεσης για να εξασφαλίσουμε την αυτό-οργάνωση του MAS σε μια σταθερή λύση. Να σημειωθεί ότι αν οι περίοδοι στοιχίζονταν μεταξύ των κυττάρων (π.χ. όλα τα κύτταρα να εκτελούσαν ταυτόχρονα τον RL-DSA) τότε τα γειτονικά κύτταρα θα είχαν ποικιλία στην ταυτόχρονη φασματική τους ανάθεση και γι' αυτό η σύγκλιση σε μια σταθερή λύση θα έμπαινε σε κίνδυνο. Προσπαθώντας να αποφύγουμε αυτό, σκεφτόμαστε ότι αφού τεθούν σε λειτουργία κάθε κύτταρο διαλέγει αυτόματα ένα αρχικό χρόνο για να εκτελέσει πρώτη φορά τον αλγόριθμο και τότε η περίοδος εκτέλεσης L ακολουθεί. Έτσι επειδή μεγάλες ποσότητες χρόνου αναμένονται για την εκτέλεση του DSA, η πιθανότητα να διαλέξουν ίδιο αρχικό χρόνο τα κύτταρα γίνεται αμελητέα. Για παράδειγμα σ αυτήν την έρευνα το $L=60000$ frames που οδηγεί στην πιθανότητα ταυτόχρονης εκτέλεσης περίπου 10^{-4} , αναφερόμενοι για την ποσότητα των 6 γειτονικών κυττάρων. Η περίπτωση ταυτόχρονης εκτέλεσης μπορεί να φανεί εύκολα εξαιτίας της συνεχόμενης υποβάθμισης της απόδοσης του κυττάρου και τότε απλά ένας άλλος αρχικός χρόνος θα πρέπει να επιλεγεί τυχαία από το κύτταρο.



Σχήμα 3. Προτεινόμενο αποκεντρωτικό πλαίσιο φασματικής ανάθεσης

4.ii. Εκτέλεση φασματικής ανάθεσης και μοντέλα

Για να εκτελέσουμε μια αξιόπιστη απόφαση φασματικής ανάθεσης το κύτταρο θα πρέπει να υπολογίσει την φασματική χρήση των γειτονικών κυττάρων ώστε να υπολογίσει μετά την επιθυμητή ενδοκυτταρική παρεμβολή και τότε τις χωρητικότητες των δικών του chunk. Προτείνονται δυο λύσεις, όπως προαναφέρθηκε, για να αποκομίζουμε αυτές τις πληροφορίες. Το επικοινωνιακό μοντέλο φασματικής ανάθεσης με το οποίο σ αυτήν την έρευνα δεν θα ασχοληθούμε παρά μόνο ως αναφορά με τα χαρακτηριστικά του και το πώς λειτουργεί και το μη επικοινωνιακό μοντέλο φασματικής ανάθεσης που θα αναλυθεί εκτενώς και θα εξομοιωθεί.

Κεφάλαιο 5. Ελεγκτής ανάθεσης φάσματος

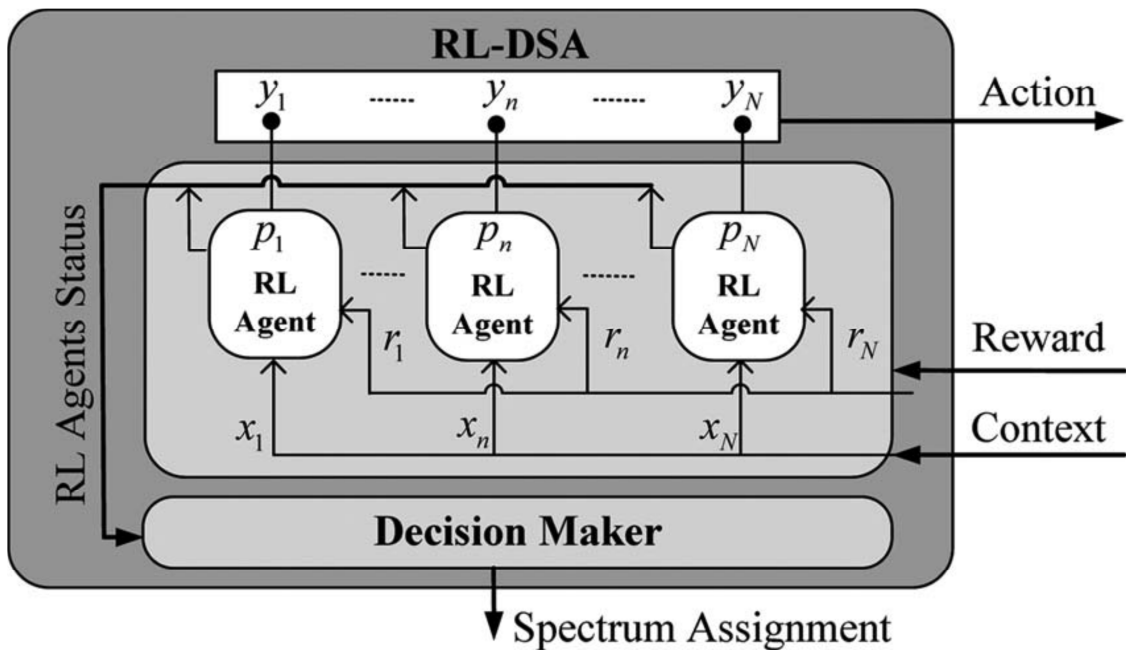
5.i. Περιγραφή

Η λειτουργία του ελεγκτή DSA που φαίνεται στο [σχήμα 4] είναι να βρεί μια κατάλληλη ανάθεση φάσματος που βελτιώνει το SINR του κυττάρου ενώ διασφαλίζει το QoS του συστήματος σε σχέση με την μικρότερη ρυθμαπόδοση.

Αποτελείται από τρεις μηχανισμούς που επικοινωνούν μεταξύ τους προκειμένου να γίνει η φασματική ανάθεση, οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω και είναι οι εξής:

- Status Observer
- RL-DSA
- Cell Characterization Entity(CCE)

Στο [σχήμα 3] φαίνεται η συσχέτιση και η συνεργασία που έχουν μεταξύ τους οι τρεις αυτοί μηχανισμοί.



Σχήμα 4.Ομηχανισμός RL-DSA.

5.ii.Status Observer

Η οντότητα του status observer σε κάθε κύτταρο είναι υπεύθυνη για να ενεργοποιήσει τον αλγόριθμο του RL_DSA σε χρονικό διάστημα L και να επιλέξει το κατάλληλο χρονικό διάστημα εκκίνησης. Επιπροσθέτως συλλέγει και δημιουργεί τις απαραίτητες εισόδους για την φασματική ανάθεση. Ως εκ τούτου οι τοπικές μετρήσεις του κελιού είναι υπολογισμένες κατά μέσο όρο κατά το χρονικό διάστημα $L \ll L$ για να είναι σίγουρο ότι οι εισοδοί κατά την διάρκεια της εκτέλεσης αντιδρούν στις πιο πρόσφατες μετρήσεις.

Μετά παρέχει στον RL-DSA αλγόριθμο και στο CCE, που θα αναλυθεί παρακάτω, τα δεδομένα εκτέλεσης τους που αποτελούνται από:

- Το μέσο όρο χρηστών στο κύτταρο
- Πληροφορίες που αφορούν την φασματική ανάθεση στα γειτονικά κύτταρα.

Στο επικοινωνιακό μοντέλο αυτή η τελευταία πληροφορία είναι η φασματική ανάθεση των γειτονικών κυττάρων που έχει ανακτηθεί από την διεπαφή της ενδοκυτταρικής παρεμβολής.

Στο μη-επικοινωνιακό μοντέλο αυτές οι πληροφορίες περιέχονται στο pdf(probability density function) του μέσου SINR για κάθε chunk.

5.iii.a.RL-DSA

Ο αλγόριθμος RL-DSA εκτελεί το έργο της απόφασης για να επιλέξει μια κατάλληλη φασματική ανάθεση για το κάθε κύτταρο.

Η έμφυτη συμπεριφορά βελτιστοποίησης του RL σε ένα σήμα αμοιβής αξιοποιείται από το RL-DSA για να βρει δυναμικά κατάλληλες φασματικές αναθέσεις στα κύτταρα ανάλογα με τις τρέχουσες αλλαγές στα φορτία κυκλοφορίας. Επίσης η εκμάθηση διατηρείται για να αξιοποιηθεί σε επόμενα έργα φασματικής ανάθεσης. Η λειτουργική αρχιτεκτονική του RL-DSA φαίνεται στο [σχήμα 4]. Ένα τροφοδοτούμενο δίκτυο αποτελούμενο από N RL πράκτορες χρησιμοποιείται για να εφαρμόσει τον RL αλγόριθμο σε κάθε κελί όπου ο κάθε RL-agent στο τροφοδοτούμενο δίκτυο είναι υπεύθυνος να μαθαίνει αν το κάθε ανάλογο chunk [18] πρέπει να εκχωρηθεί στο στοιχείο ή όχι. Η διαδικασία εκμάθησης θα περιγραφεί παρακάτω.

5.iii.b. Τρόπος λειτουργίας RL-DSA συνοπτικά

Το RL-DSA αλληλεπιδρά με το CCE σε μια βήμα προς βήμα βάση για να εξασφαλίσει μια ανταμοιβή (reward). Σε κάθε RL βήμα η επιλεγμένη δράση από το RL σύστημα για να αλληλεπιδράσει με το CCE είναι ένα δυαδικό διάνυσμα εκχώρησης $Y(t) = \{Y_1(t), \dots, Y_n(t)\}$ που περιέχει την ανάθεση του chunk στο κύτταρο έτσι ώστε να θεωρείται ότι το n chunk έχει ανατεθεί στο κύτταρο αν $Y_n(t) = 1$ αλλιώς όχι. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι έξοδοι είναι μεταβλητές τυχαίες βάση του πειράματος του Bernoulli που εξαρτώνται από μια εσωτερική πιθανότητα $Y_n(t)$ που ανταποκρίνεται στην πιθανότητα ότι η έξοδος $Y_n(t)$ είναι ίση με 1 σε ένα δεδομένο RL βήμα. Αυτή η τυχαία φύση και ο αλγόριθμος εκμάθησης επιτρέπουν στο RL-DSA να εξερευνήσει το περιθώριο επίλυσης προς μια κατεύθυνση όπου η ανταμοιβή είναι παγκοσμίως μεγιστοποιημένη [18],[21]. Οι γενικές reinforce [21] μέθοδοι, αν θεωρήσουμε τον αλγόριθμο που προτείνεται σ

αυτήν την έρευνα σαν συγκεκριμένη περίπτωση, έχουν αποδειχθεί ότι συγκλίνουν σε ένα παγκόσμιο μέγιστο ανταποδοτικού σήματος. Επιπροσθέτως, θέτουμε τις εισόδους x σαν τον μέγιστο αριθμό χρηστών του κυττάρου για όλα τα n και τα t . Αυτή η είσοδος παραμένει σταθερή κατά την διάρκεια μιας RL-DSA εκτέλεσης ώστε το RL-DSA να μπορεί να συνδέσει λύσεις σε διαφορετικά φορτία του κυττάρου.

Κατόπιν, το RL-DSA μεγιστοποιεί ένα ανταποδοτικό σήμα το οποίο είναι κατάλληλα καθορισμένο σε σχέση με το μέσο SINR στο κελί και το καλύτερο QoS για την επικοινωνία των χρηστών. Θεωρείται ότι η μεταδιδόμενη δύναμη ανα chunk είναι σταθερή σε κάθε κύτταρο έτσι ώστε η αύξηση του SINR για μια συγκεκριμένη κατανομή χρηστών στο κύτταρο να είναι ισοδύναμη με μια μείωση της παρεμβολής από τα άλλα κύτταρα. Τέλος, ο Decision Maker σταματάει το RL-DSA μετά από ένα ικανοποιητικά υψηλό αριθμό βημάτων MAX_STEPS. Μετά εξετάζει την κατάσταση του RL-DSA η οποία είναι ένα διάνυσμα με εσωτερική δράση-επιλογή πιθανοτήτων των agents για $n=1,2,\dots,N$ και θεωρεί για τη νέα φασματική ανάθεση ότι αν η πιθανότητα του κάθε agent είναι μεγαλύτερη του 0,5 το chunk πρέπει να χρησιμοποιηθεί αλλιώς όχι.

Για κάθε δράση του RL-DSA, το CCE επιστρέφει μια ανταμοιβή (r) που είναι κοινή για όλους τους RL agents σε ένα δεδομένο κύτταρο ώστε όλοι οι agents να εμπλέκονται στον ίδιο στόχο. Σημειώστε ότι στην ουσία το RL-DSA περιλαμβάνει εκμάθηση σε ένα MAS και έτσι έχοντας μια κοινή ανταμοιβή έμμεσα κάνει τις ενέργειες κάθε RL agent εξαρτώμενες από τις ενέργειες των άλλων RL-agent για το κάθε κύτταρο. Αυτό το γεγονός από κοινού με την τυχαία φύση των εξόδων των RL

agents, παρέχει επαρκή συντονισμό μεταξύ τους για να συγκλίνουν σε μία σταθερή λύση. Ο στόχος του RL-DSA αλγόριθμου είναι να μεγιστοποιεί ένα ανταποδοτικό σήμα r . Για να δίνει μια φυσική σημασία στην διαδικασία εκμάθησης το ανταποδοτικό σήμα r πρέπει να συνδέεται σε ένα μετρικό απόδοσης του συστήματος.

Αφού το DSA σε αυτήν την έρευνα στοχεύει στην μεγιστοποίηση του SINR του κυττάρου εξασφαλίζοντας ένα δεδομένο QoS σε όρους μιας ελάχιστης μέσης απόδοσης χρηστών, το r ορίζεται ως:

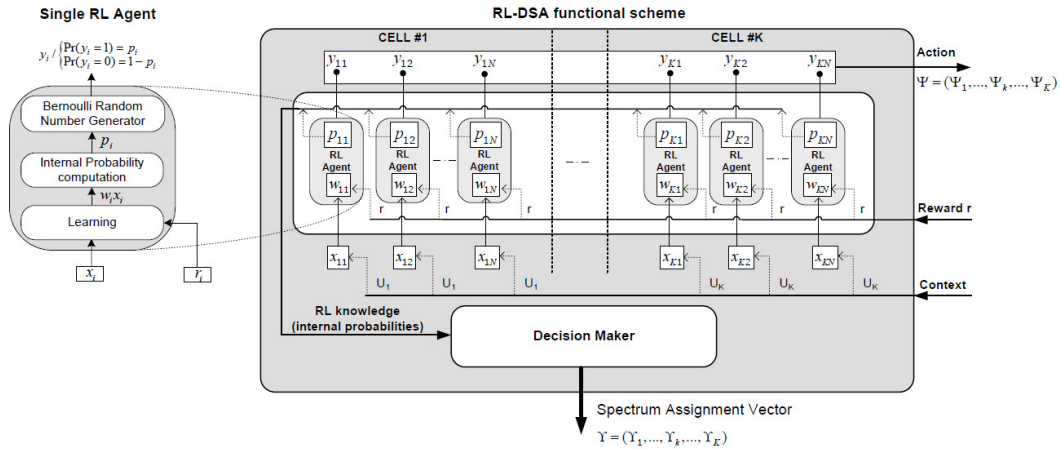
$$r(t) = \begin{cases} 0, & \text{if } \hat{th}(t) < th_{\text{target}} \\ \hat{\gamma}(t), & \text{otherwise} \end{cases}$$

Όπου το $\hat{\gamma}(t)$ είναι το εκτιμώμενο μέσο SINR στο κύτταρο και το $th(t)$ είναι η εκτιμώμενη μέση απόδοση χρηστών για το κύτταρο. Να σημειωθεί ότι το ανταποδοτικό σήμα είναι μηδενικό για το κύτταρο αν η μέση απόδοση χρηστών είναι κάτω από ένα δεδομένο στόχο απόδοσης ικανοποίησης των χρηστών th_{target} .

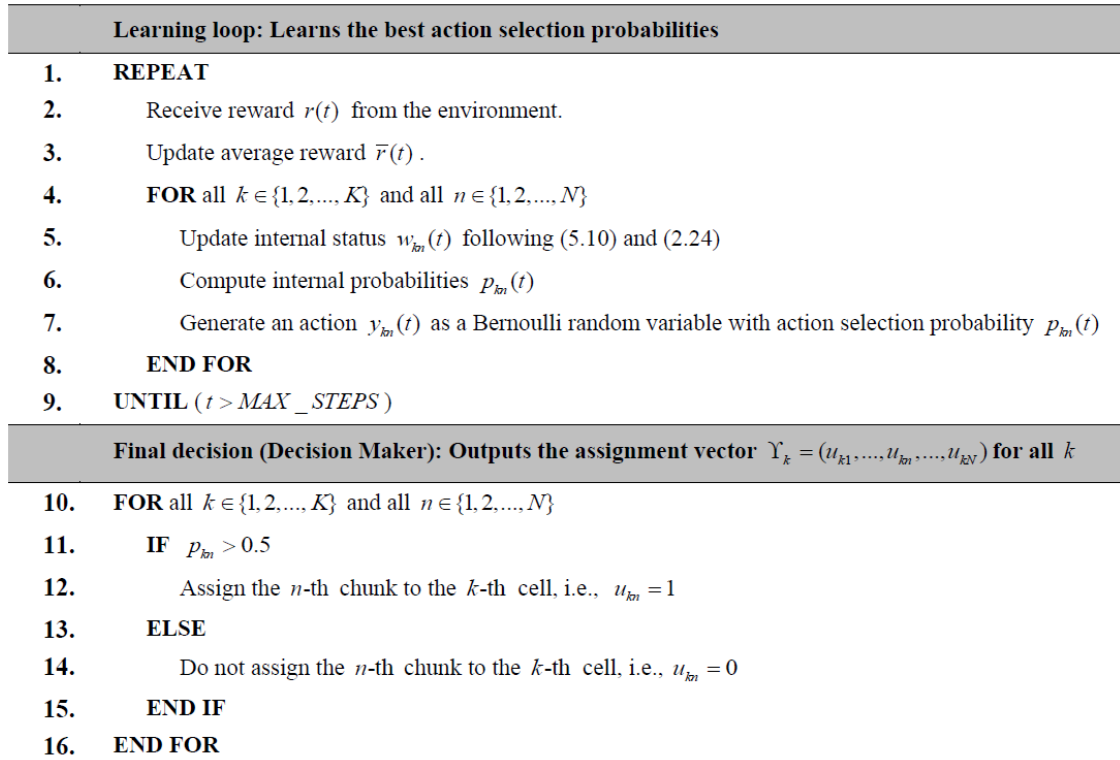
Διαφορετικά το RL-DSA μεγιστοποιεί το SINR. Αυτό το ανταποδοτικό σήμα είναι δημιουργημένο από το CCE για κάθε ενέργεια του RL-DSA σε ένα κύτταρο. Έτσι ο συντονισμός μεταξύ διαφορετικών κυτάρων είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι το ανταποδοτικό σήμα παίρνει το SINR που προκύπτει από τις ενέργειες των άλλων κυττάρων.

Σημειώστε ότι αυτή η ανταμοιβή είναι μη στάσιμη αφού διαφορετικές ανταμοιβές μπορούν να αποκτηθούν από την ίδια ενέργεια σε διαφορετικές εκτελέσεις του RL-DSA ανάλογα με την

τρέχουσα κατάσταση του κυττάρου και του περιβάλλοντος του. Στο [σχήμα 5] μπορούμε να δούμε πιο αναλυτικά το [σχήμα 4] με τις παραμέτρους που μας χρειάζονται και στο [σχήμα 6] μπορούμε να δούμε συνοπτικά τα βήματα του αλγορίθμου DSA.



Σχήμα 5. Ο ελεγκτής DSA.



Σχήμα 6. Ο αλγόριθμος που τρέχει.

5.iv. Cell Characterization Entity (CCE)

Το CCE συνιστά το περιβάλλον για το RL-DSA και προσπαθεί να μιμηθεί την απόκριση ενός κυττάρου για μια δεδομένη ανάθεση φάσματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ακρίβεια της εκτίμησης θα μπορούσε να επηρεάσει την ακρίβεια της προτεινόμενης λύσης. Ωστόσο όπως θα δούμε και στα αποτελέσματα τα δεδομένα μοντέλα εδώ είναι επαρκή αφού η προτεινόμενη λύση από το RL-DSA σίγουρα βελτιώνει την απόδοση στο πραγματικό δίκτυο.

Για κάθε υποψήφια φασματική ανάθεση που δίνεται από το RL-DSA στο βήμα t , το CCE επιστρέφει την ανταμοιβή αντανακλώντας την καταλληλότητα κάθε ενέργειας. Ως εκ τούτου, η ανταμοιβή πρέπει να εκτιμάται για κάθε ενέργεια. Για τον σκοπό αυτό το CCE πρέπει να υπολογίσει τις εκτιμήσεις του μέσου SINR στο κύτταρο και τον μέσο όρο απόδοσης των χρηστών για μια ορισμένη φασματική ανάθεση. Για τους υπολογισμούς αυτούς προτείνονται δυο μοντέλα. Το επικοινωνιακό με το οποίο δεν θα ασχοληθούμε σ' αυτήν την εργασία και το μη-επικοινωνιακό που θα αναλύσουμε παρακάτω.

Στο μη-επικοινωνιακό μοντέλο δεν επικοινωνούν τα κύτταρα μεταξύ τους και έτσι το μέσο SINR του χρήστη και η ρυθμαπόδοση των χρηστών υπολογίζονται από τις μετρήσεις στον status observer. Αφού δεχθεί το CCE αυτές τις μετρήσεις τότε αυτό υπολογίζει το μέσο SINR του κάθε chunk και δίνεται από την εξίσωση:

$$\hat{\gamma}_n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{\gamma}_n s_{\bar{\gamma}_n}(\bar{\gamma}_n) d\bar{\gamma}_n$$

και το μέσο SINR για το κύτταρο και δίνεται από την εξίσωση:

$$\hat{\gamma}(t) = \frac{1}{|C(t)|} \sum_{n \in C(t)} \hat{\gamma}_n(t).$$

όπου το $C(t)$ είναι ο αριθμός των chunk που έχουν ανατεθεί στο κύτταρο. Επιπλέον ο υπολογισμός της μέσης καταλληλότητας φάσματος δίνεται από την σχέση:

$$\hat{\eta}(t) = \frac{1}{|C(t)|} \sum_{n \in C(t)} G(\bar{U}, \hat{\gamma}_n(t)) \int_{-\infty}^{\infty} q(\bar{\gamma}_n) s_{\bar{\gamma}_n}(\bar{\gamma}_n) d\bar{\gamma}_n$$

Όπου το G είναι ο παράγοντας ενίσχυσης της καταλληλότητας και το q είναι η φασματική καταλληλότητα και δίδεται από τον τύπο

$$q = m * r$$

όπου το m είναι το Modulation που χρησιμοποιείται και το r είναι ο ρυθμός μετάδοσης. Στην συνέχεια ο μέσος όρος ρυθμαπόδοσης του κυττάρου δίνεται από την σχέση:

$$\hat{t}h(t) = \frac{B |C(t)| \hat{\eta}(t)}{\bar{U}}$$

Κεφάλαιο 6. Υλοποίηση

6.i. Πίνακες παραμέτρων υλοποίησης

TABLE I
SIMULATION PARAMETERS

Default parameters	
Frame time	2 ms
Chunk bandwidth [B]	375 kHz
Number of chunks [N]	24 chunks
UE thermal noise	-174 dBm/Hz
UE noise factor	9 dB
Short Term Scheduling method	Proportional Fair [19]
PF Averaging window	50 frames
MC parameters	
Cell Radius	500 m
Minimum distance to BS	35m
Antenna Pattern	Omnidirectional
Power per chunk	30 dBm
FC parameters	
Path Loss at d Km in dB	$128.1+37.6\log_{10}(d)$
Shadowing standard deviation	8 dB
Shadowing decorrelation distance	5 m
Small Scale Fading Model	ITU Ped. A
DSA parameters	
Measurements averaging period [I]	2500 frames
RL-DSA execution period [L]	60000 frames
RL-DSA [18] parameters [α , β , σ , Δ]	[100, 0.01, 0.05, 10^{-6}]
RL-DSA exploratory probability [p_{explore}]	0.1%
RL-DSA steps [MAX_STEPS]	1000000
Margin factor [24]	3.0

Πίνακας 1.

SINR threshold [dB]	Modulation m [bits/s/Hz]	Coding Rate r	Achievable spectral efficiency $q=m*r$ [bits/s/Hz]
< 0.9	-	-	0
≥ 0.9	2 (QPSK)	1/3	0.66
≥ 2.1	2 (QPSK)	1/2	1
≥ 3.8	2 (QPSK)	2/3	1.33
≥ 7.7	4 (16QAM)	1/2	2
≥ 9.8	4 (16QAM)	2/3	2.66
≥ 12.6	4 (16QAM)	5/6	3.33
≥ 15.0	6 (64QAM)	2/3	4
≥ 18.2	6 (64QAM)	5/6	5

Πίνακας 2.

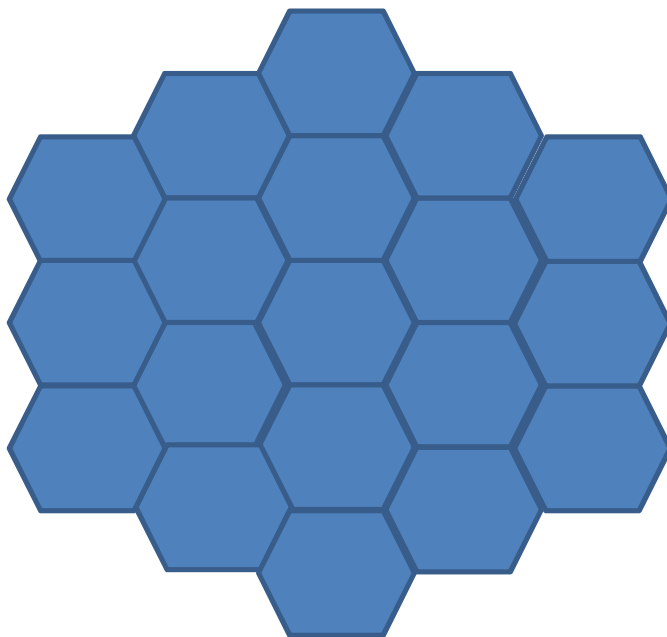
6.ii.Σενάριο υλοποίησης

Σ αυτήν την έρευνα εμείς θα υλοποιήσουμε ένα σενάριο το οποίο αφορά το μή-επικοινωνιακό μοντέλο με macrocells. Θεωρούμε ότι έχουμε $N=24$ chunks και τα SINR καθώς και ο ρυθμός δεδομένων μας δίνεται από τον πίνακα [2] ο οποίος επισυνάπτεται παραπάνω.

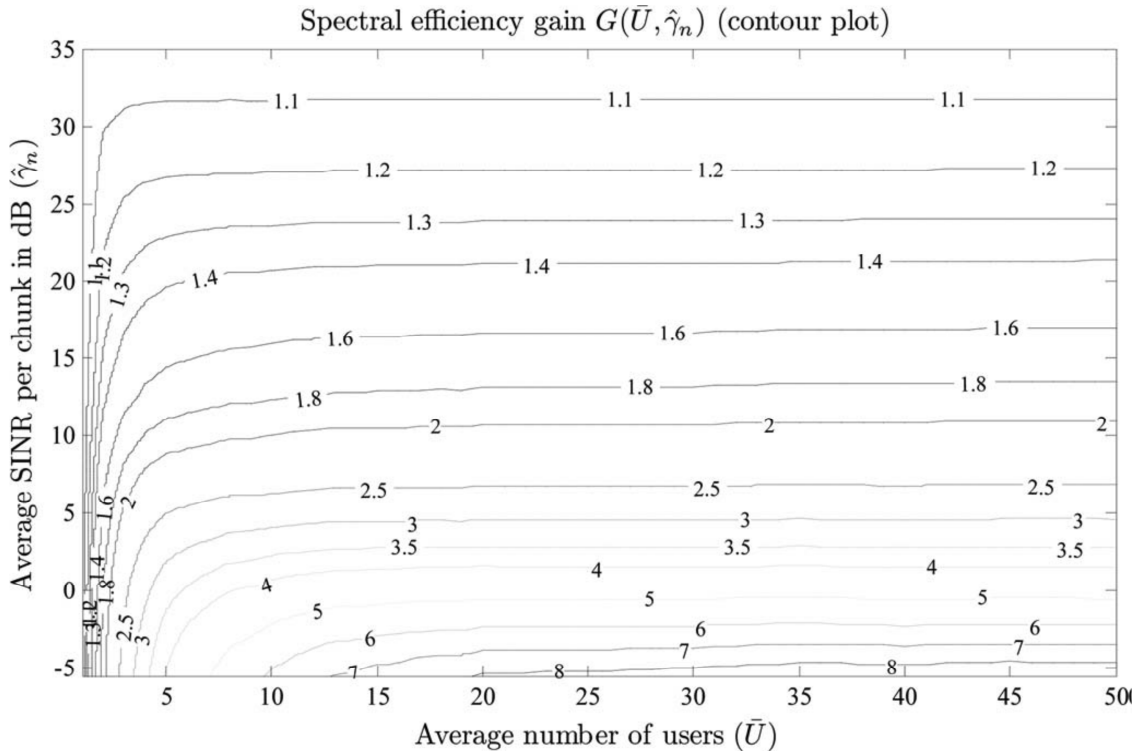
Θεωρούμε επίσης ότι έχουμε 19 κύτταρα εξαγωνικά όπου το κεντρικό κύτταρο έχει ένα εξωτερικό κύκλο 6 κυττάρων ο οποίος κύκλος έχει και αυτός έναν άλλο εξωτερικό κύκλο με δώδεκα κύτταρα. Στο [σχήμα 7] βλέπουμε την δομή του δικτύου μας. Οι χρήστες εντός των κυττάρων είναι ομογενώς κατανομημένοι και έχουν ταχύτητα 3km/h ακολουθώντας μια τυχαία τροχιά [23]. Οι χρήστες δεν μπορούν να φύγουν από το κύτταρο κατα την διάρκεια της πορείας τους. Εμείς θέλουμε να συγκρίνουμε την

προτεινόμενη επίλυση , αυτή του αποκεντρωτικού πλαισίου, με τις στρατηγικές FRF , FRF1 , FRF3 και PR [4] οι οποίες αναπτύσσουν στατική φασματική ανάθεση στο κυτταρικό δίκτυο. Επίσης γίνεται σύγκριση με το συγκεντρωτικό πλαίσιο που προτείνεται στο [24].

Η εξομοίωση του συστήματος γίνεται για μια ώρα στην οποία τα πρώτα 25 λεπτά το σύστημα μένει ως έχει. Από το 25^ο λεπτό και μέχρι το 35^ο , κάθε λεπτό που περνάει τα κύτταρα του εξωτερικού κύκλου χάνουν 2 χρήστες ενώ τα κύτταρα του πρώτου καθώς και το κεντρικό παίρνουν από έναν χρήστη το κάθε ένα. Μετά το 35^ο λεπτό το σύστημα παραμένει ως έχει μετά την αλλαγή.



Σχήμα 7. Το δίκτυο ενασχόλησης μας.



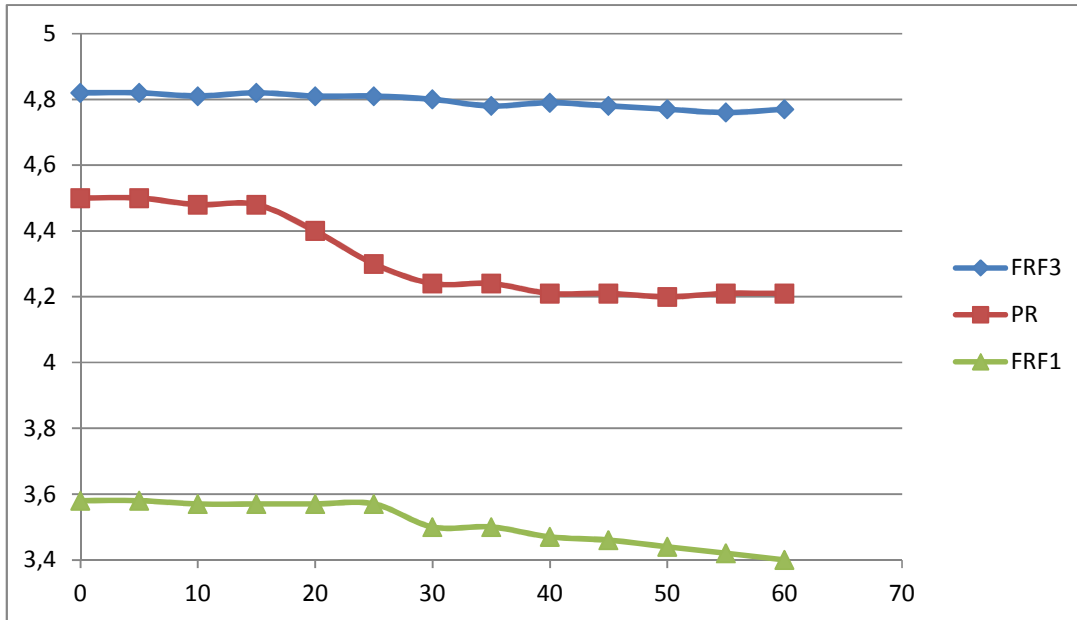
Σχήμα 8. Το G που παίρνουμε για τον έσο όρο χρηστών.

6.iii. Συναρτήσεις κώδικα

1. `Main ()`: εκτελεί όλο το πρόγραμμα και καλεί τις υπόλοιπες συναρτήσεις.
2. `Rl_dsa ()`: Τρέχει τον αλγόριθμο εκμάθησης
3. `Ksi ()`: συνάρτηση που υπολογίζει μια παράμετρο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του βάρους σε κάθε agent.
4. `Zita ()`: συνάρτηση που υπολογίζει μια παράμετρο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του βάρους σε κάθε agent.
5. `Internal_P ()`: συνάρτηση που υπολογίζει μια εσωτερική πιθανότητα σε κάθε agent.

6. `Decision_Maker ()`: Συνάρτηση που υλοποιεί τον `Decision Maker` του `dsa` που κάνει την ανάθεση η όχι.
7. `Bernoulli ()`: Συνάρτηση που υπολογίζει την ομόνυμη πιθανότητα.
8. `Calculate_m_gain ()`: συνάρτηση που υπολογίζει το μέσο `gain` της κεραίας.
9. `CCE ()`: συνάρτηση που υλοποιεί την ομόνυμη οντότητα.
10. `Q_SINR ()`: συναρτηση που υπολογίζει το `q`.
11. `Produce_SINR ()`: Συνάρτηση που παράγει ένα `SINR` για κάθε `chunk`.
12. `Count_users ()`: Συνάρτηση που υπολογίζει τον μέσο αριθμό χρηστών.
13. `Calcangledir ()`: Συνάρτηση που υπολογίζει την γωνία του χρήστη για να βρούμε το `gain`.
14. `Inserthh ()`: Συνάρτηση που εισάγει τους χρήστες στην λίστα και στα κύτταρα.
15. `Gridline ()`: Συνάρτηση που φτάνει το πλέγμα που θα εργαστούμε.
16. `Allocdirto cells ()`: Συνάρτηση που δίνει γωνίες στα κύτταρα βάση του κεντρικού.
17. `Createhlist ()`: Συνάρτηση που υλοποιεί μια λίστα για τους χρήστες.
18. `Placebts ()`: Συνάρτηση που τοποθετεί το `bts`.
19. `Movehh ()`: Συνάρτηση που δίνει κίνηση στους χρήστες.
20. `Transfer ()`: Συνάρτηση που μεταφέρει χρήστες μεταξύ των κύκλων στο δίκτυο μας.

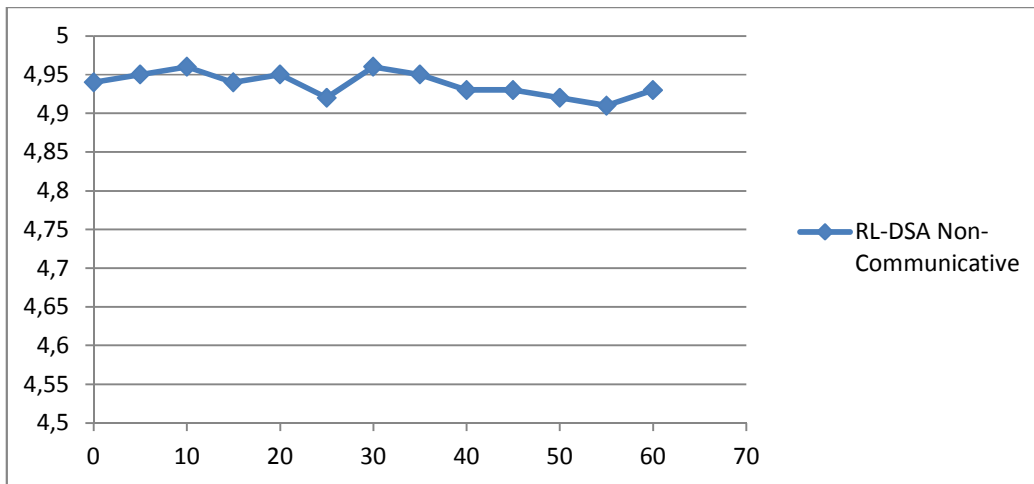
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Σχήμα 9. Στατικές γραφικές παραστάσεις του spectral efficiency.

Στο παραπάνω [σχήμα 9] βλέπουμε την γραφική απεικόνιση των στατικών σεναρίων φασματικής ανάθεσης όσον αφορά την φασματική καταλληλότητα. Ο οριζόντιος άξονας μετράει χρόνο σε λεπτά και ο κάθετος φασματική καταλληλότητα σε bits/s/Hz.

Στο παρακάτω σχήμα [σχήμα 10] μπορούμε να δούμε την γραφική απεικόνιση του δυναμικού σεναρίου φασματικής ανάθεσης RL-DSA και πιο συγκεκριμένα του μη επικοινωνιακού μοντέλου με τα macrocells, όσον αφορά την φασματική καταλληλότητα με οριζόντιους κάθετους άξονες ίδιους με τους προηγούμενους. Και στον [πίνακα 3] βλέπουμε τις τιμές από τις οποίες προήλθαν τα γραφήματα.



Σχήμα 10. Δυναμική γραφική παράσταση spectral efficiency.

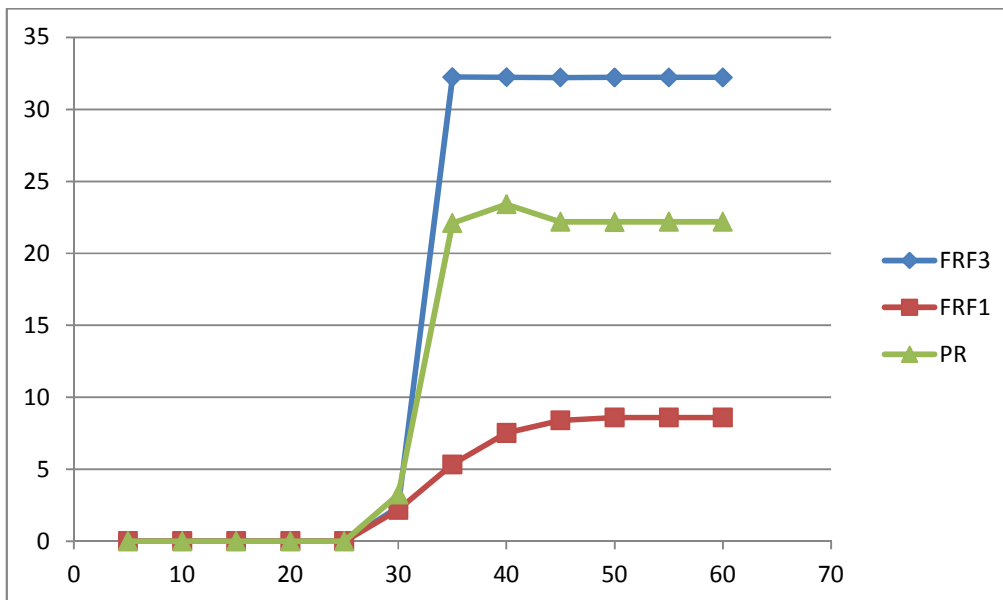
Είναι προφανές ότι η το δυναμικό RL-DSA έχει πολύ καλύτερη απόδοση από τις άλλες στατικές στρατηγικές. Επίσης μπορούμε να δούμε ότι όχι μόνο είναι πολύ καλύτερη η απόδοση του αλλά είναι και σταθερή.

Time	FRF3	PR	FRF1	RL-DSA Non-Communicative
0	4,82	4,5	3,58	4,94
5	4,82	4,5	3,58	4,95
10	4,81	4,48	3,57	4,96
15	4,82	4,48	3,57	4,94
20	4,81	4,4	3,57	4,95
25	4,81	4,3	3,57	4,92
30	4,8	4,24	3,5	4,96
35	4,78	4,24	3,5	4,95
40	4,79	4,21	3,47	4,93
45	4,78	4,21	3,46	4,93
50	4,77	4,2	3,44	4,92
55	4,76	4,21	3,42	4,91
60	4,77	4,21	3,4	4,93

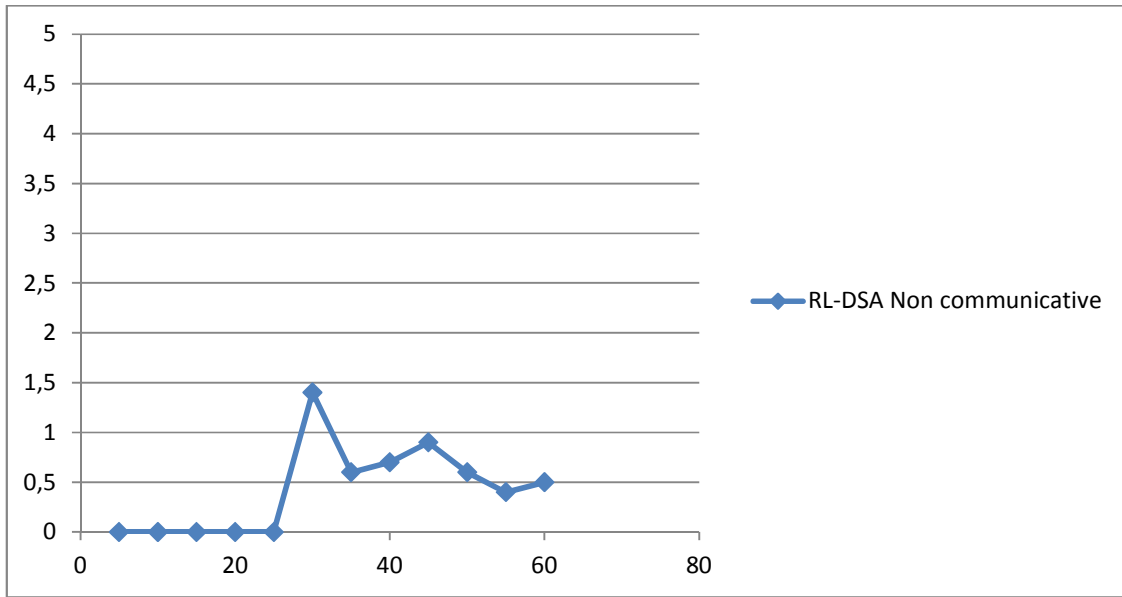
Πίνακας 3. Φασματική καταλληλότητα.

Πάμε τώρα να δούμε την μέση πιθανότητα αποτυχίας. Η μέση πιθανότητα αποτυχίας είναι η πιθανότητα η ρυθμαπόδοση ενός χρήστη να είναι κάτω από την προσδοκώμενη ρυθμαπόδοση για το σύστημα και μετριέται σε βάθος χρόνου. Στο σενάριο που τρέξαμε η προσδοκώμενη ρυθμαπόδοση είναι 256 kb/s.

Καθώς μπορούμε να συγκρίνουμε τα παρακάτω σχήματα [σχήμα 11, σχήμα 12] τα στατικά σενάρια FRF1, FRF3 και PR δεν μπορούν να προσαρμοστούν σε σενάρια με ετερογενή κατανομή φόρτου κίνησης (δηλαδή όταν οι χρήστες αλλάζουν κύτταρα και αλλάζει η κατανομή τους σε αυτά όπως γίνεται μετά το 35^ο λεπτό) και έτσι πετυχαίνουν μια κακή απόδοση στην μέση πιθανότητα αποτυχίας προσδοκώμενης ρυθμαπόδοσης. Όμως σε αντίθεση με τα προηγούμενα το RL-DSA βλέπουμε ότι κρατάει πολύ χαμηλά την μέση πιθανότητα αποτυχίας χάρη στην δυναμική προσαρμογή σε ταυτόχρονα ομογενή και ετερογενή κατανομή φόρτου κίνησης.



Σχήμα 11. Μέση πιθανότητα αποτυχίας προσδοκώμενης ρυθμαπόδοσης στατικών σεναρίων.

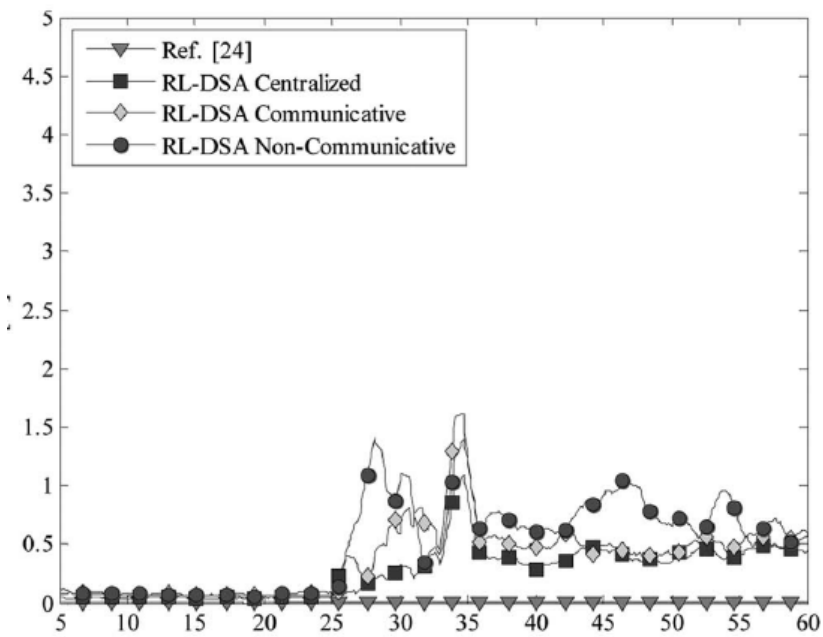
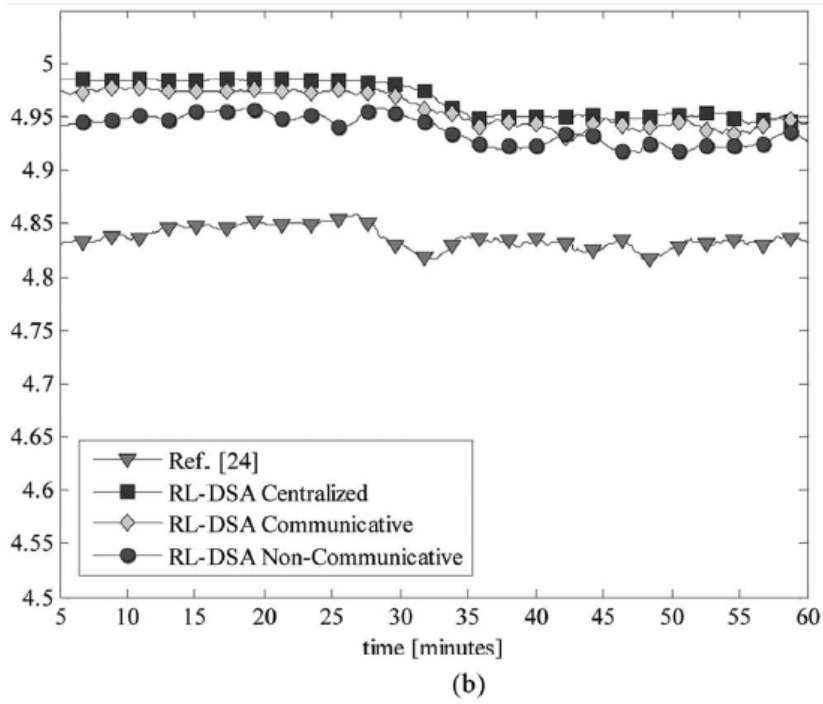


Σχήμα 12. Μέση πιθανότητα αποτυχίας προσδοκώμενης ρυθμαπόδοσης RL-DSA.

Time	FRF3	FRF1	PR	RL-DSA Non communicative
0				
5	0	0	0	0
10	0	0	0	0
15	0	0	0	0
20	0	0	0	0
25	0	0	0	0
30	2,35	2,18	3,25	1,4
35	32,24	5,34	22,1	0,6
40	32,23	7,52	23,4	0,7
45	32,2	8,4	22,18	0,9
50	32,21	8,6	22,17	0,6
55	32,21	8,6	22,19	0,4
60	32,21	8,6	22,18	0,5

Πίνακας 4. Τιμές μέσης πιθανότητας αποτυχίας προσδοκώμενης ρυθμαπόδοσης.

Στον παραπάνω [πίνακα 4] βλέπουμε τις τιμές μέσης πιθανότητας αποτυχίας προσδοκώμενης ρυθμαπόδοσης από τις οποίες προήλθαν τα ανωτέρω γραφήματα. Η μέση πιθανότητα αποτυχίας προσδοκώμενης ρυθμαπόδοσης μετριέται επί τοις εκατό στον χρόνο.



Σχήμα 13.Φασματική καταλληλότητα και πιθανότητα αποτυχίας προσδοκώμενης ρυθμαπόδοσης για μη υλοποιημένα σενάρια.

Για να ολοκληρωθεί η έρευνα μας θα γίνει μια σύγκριση επι εικονικών αποτελεσμάτων εφόσον δεν τρέξαμε τα σενάρια

επικοινωνιακού και συγκεντρωτικού μοντέλου. Συγκρίνοντας τα στο επικοινωνιακό μοντέλο η φασματική ανάθεση εμφανίζει ελαφρώς καλύτερη απόδοση από ότι στο μη επικοινωνιακό επειδή κάθε κύτταρο ξέρει ακριβώς την φασματική ανάθεση που έχει γίνει στα γειτονικά του την στιγμή της εκτέλεσης του RL-DSA. Από την άλλη, το μη επικοινωνιακό μοντέλο περιορίζεται στις μετρήσεις που κάνει για να μετρήσει την φασματική χρήση στα γειτονικά κύτταρα. Αυτές τις μετρήσεις πρέπει να τις πάρουμε σε μέσο όρο σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Σε περίπτωση που η φασματική χρήση αλλάξει σε γειτονικά κύτταρα, κατά την ώρα των μετρήσεων, η μέτρηση μας θα είναι λιγότερο επιτυχής.

Όμως τα αποτελέσματα του σχήματος [σχήμα 13] μας δείχνουν ότι στο μη επικοινωνιακό μοντέλο έχουμε παρόμοια απόδοση με αυτή του επικοινωνιακού. Αυτό συμβαίνει, εξαιτίας της λειτουργίας του μη επικοινωνιακού μοντέλου που διαλέγει τυχαία χρονική στιγμή εκκίνησης. Επίσης, δεν χρειάζεται σηματοδότηση μεταξύ των κυττάρων και έτσι καλύτερη ανάπτυξη σε εφαρμογές όπου η ενδοκυτταρική παρεμβολή δεν είναι διαθέσιμη π.χ. στο σενάριο με τα Femtocells.

Αξίζει να σημειωθεί η κοντινή απόδοση που εμφανίζεται στο αποκεντρωτικό πλαίσιο σε σχέση με αυτή του συγκεντρωτικού. Αυτό σίγουρα ευνοεί την χρήση κατανεμημένων προσεγγίσεων, επειδή προσθέτουν ευρωστία για να ισορροπήσουν την αποτυχία κάθε κυττάρου ή του συγκεντρωτικού ελεγκτή που είναι υπεύθυνα για την εκτέλεση του συγκεντρωτικού αλγορίθμου. Επίσης, οι αποκεντρωτικές μεθόδους δείχνουν καλύτερη επεκτασιμότητα. Για παράδειγμα, για κάθε κύτταρο που προστίθεται, το φάσμα επίλυσης για το συγκεντρωτικό RL-DSA αυξάνεται κατά 2^N και η σηματοδότηση αυξάνεται σε σχέση με το N/L bits/s [18]. Όμως

στο αποκεντρωτικό πλαίσιο το φάσμα επιλυσης δεν αυξάνεται. Σε αντίθεση με την σηματοδότηση που αυξάνεται κατα το ίδιο ποσό με την συγκεντρωτική προσέγγιση, για το μή επικοινωνιακό μοντέλο παραμένει σταθερή. Η αποκεντρωτική προσέγγιση είναι πιο ευέλικτη, εφόσον μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα FemtoCell σενάριο, όπου η συγκεντρωτική αρχιτεκτονική δεν είναι πρακτική εξαιτίας του μεγάλου αριθμού και των τυχαίων τοποθεσιών των FC.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] B. Furth and S. A. Arson, Eds., *Long Term Evolution 3GPP LTE Radio and Cellular Technology*. BocaRaton, FL: Auerbach, 2009.
- [2] Z. Wang and R. A. Stirling-Gallacher, "Frequency reuse scheme for cellular OFDM systems," *Electron. Lett.*, vol. 38, no. 8, pp. 387–388, 2002.
- [3] M. Mustonen, K. Hooli, J. Ylitalo, and A. Tölli, "Application of intra-ran flexible spectrum use to networks with multi-rate services," in *Proc. 17th IEEE Int. Symp. Pers., Indoor, Mobile Radio Commun.*, pp. 1–5.
- [4] M. Sternad, T. Ottosson, A. Ahlen, and A. Svensson, "Attaining both coverage and high spectral efficiency with adaptive ofdm downlinks," in *Proc. IEEE 58th Veh. Technol. Conf.*, Oct. 2003, vol. 4, pp. 2486–2490.
- [5] D. López-Pérez, A. Jüttner, and J. Zhang, "Dynamic frequency planning versus frequency re-use schemes in ofdma networks," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*, Apr. 26–29, 2009, pp. 1–5.
- [6] A. L. Stolyar and H. Viswanathan, "Self-organizing dynamic fractional frequency reuse in OFDMA systems," in *Proc. 27th IEEE Conf. Comput. Commun.*, Apr. 2008, pp. 691–699.
- [7] B.W.-K. Ling, L. Benmesbah, V. Chandrasekhar, X. Chu, and M. Dohler, "Decentralized spectral resource allocation for OFDMA downlink of coexisting macro/femto networks using filled function method," in *Proc. 7th IEEE, IET Int. Symp. Commun. Syst., Netw. Dig. Signal Process.*, Jul. 21–23, 2010, pp. 881–885.
- [8] V. Chandrasekhar, J. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell networks: A survey," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 9, pp. 59–67, Sep. 2008.
- [9] D. López-Pérez, A. Valcarce, G. de la Roche, and J. Zhang, "OFDMA femtocells: A roadmap on interference avoidance," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp. 41–48, Sep. 2009.
- [10] Y. Bai, J. Zhou, L. Liu, L. Chen, H. Otsuka, "Resource coordination and interference mitigation between macrocell and femtocell," presented at the 20th Pers., Indoor, Mobile Radio Commun. Symp., Tokyo, Japan, Sep. 13–16, 2009.
- [11] E. Bogenfeld, I. Gaspard, Eds., (Dec. 2008), "Self-x in radio access networks," [Online]. Available: <https://www.ict-e3.eu/project/dissemination/whitepapers/whitepapers.html>.
- [12] G. Tesauro, "Reinforcement learning in autonomic computing: a manifesto and case studies," *IEEE Internet Comput.*, vol. 11, no. 1, pp. 22–30, Jan.–Feb. 2007.
- [13] P. Stone and M. Veloso, "Multiagent systems: A survey from a machine learning perspective," *Auton. Robots*, vol. 8, no. 3, pp. 345–383, Jul. 2000.
- [14] E. Alonso, M. D'Inverno, D. Kudenko, M. Luck, and J. Noble, "Learning in multi-agent systems," *Knowl. Eng. Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 277–284, 2001.

- [15] L. Busoniu, R. Babuska, and B. De Schutter, “A comprehensive survey of multiagent reinforcement learning,” *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., C, Appl. Rev.*, vol. 38, no. 2, pp. 156–172, Mar. 2008.
- [16] K. M. Dresner and P. Stone, “A multiagent approach to autonomous intersection management,” *J. Artif. Intell. Res.*, vol. 31, pp. 591–656, 2008.
- [17] F. Bernardo, R. Agustí, J. Pérez-Romero, and O. Sallent, “Distributed spectrum management based on reinforcement learning,” in *4th Int. Conf. Cognitive Radio Oriented Wireless Netw. Commun.*, Jun. 22–24, 2009, pp. 1–6.
- [18] F. Bernardo, R. Agustí, J. Pérez-Romero, and O. Sallent, “An application of reinforcement learning for efficient spectrum usage in next-generation mobile cellular networks,” *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., C, Appl. Rev.*, vol. 40, no. 4, pp. 477–484, Jul. 2010.
- [19] C. Wengerter, J. Ohlhorst, and A.G.E. von Elbwart, “Fairness and throughput analysis for generalized proportional fair frequency scheduling in OFDMA,” in *Proc. IEEE 61st Veh. Technol. Conf.*, Jun. 2005, vol. 3, pp. 1903–1907.
- [20] 3GPP TS 36.300 v8.7.0, “3GPP E-UTRA and E-UTRAN,” Overall description, Stage 2 (Rel. 8), 2009.
- [21] V. V. Phansalkar and M. A. L. Thathachar, “Local and global optimization algorithms for generalized learning automata,” *Neural Comput.*, vol. 7, no. 5, pp. 950–973, Sep. 1995.
- [22] M. A. L. Thathachar and P. S. Sastry, “Varieties of learning automata: an overview,” *IEEE Trans. Man, Cybern., B*, vol. 32, no. 6, pp. 711–722, Dec. 2002.
- [23] 3GPP, TR 25.814 v7.1.0, “Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA),” Rel. 7, Sep. 2006.
- [24] F. Bernardo, R. Agustí, J. Cordero, and C. Crespo, “Self-optimization of spectrum assignment and transmission power in ofdma femtocells,” in *Proc. 6th Adv. Int. Conf. Telecommun.*, May 9–15, 2010.
- [25] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, “Spectrum allocation in tiered cellular networks,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 57, no. 10, pp. 3059–3068, Oct. 2009.
- [26] “Contribution to dynamic spectrum assignment in multicell OFDMA Networks”, Francisco Bernardo Alvarez.
- [27] Wikipedia