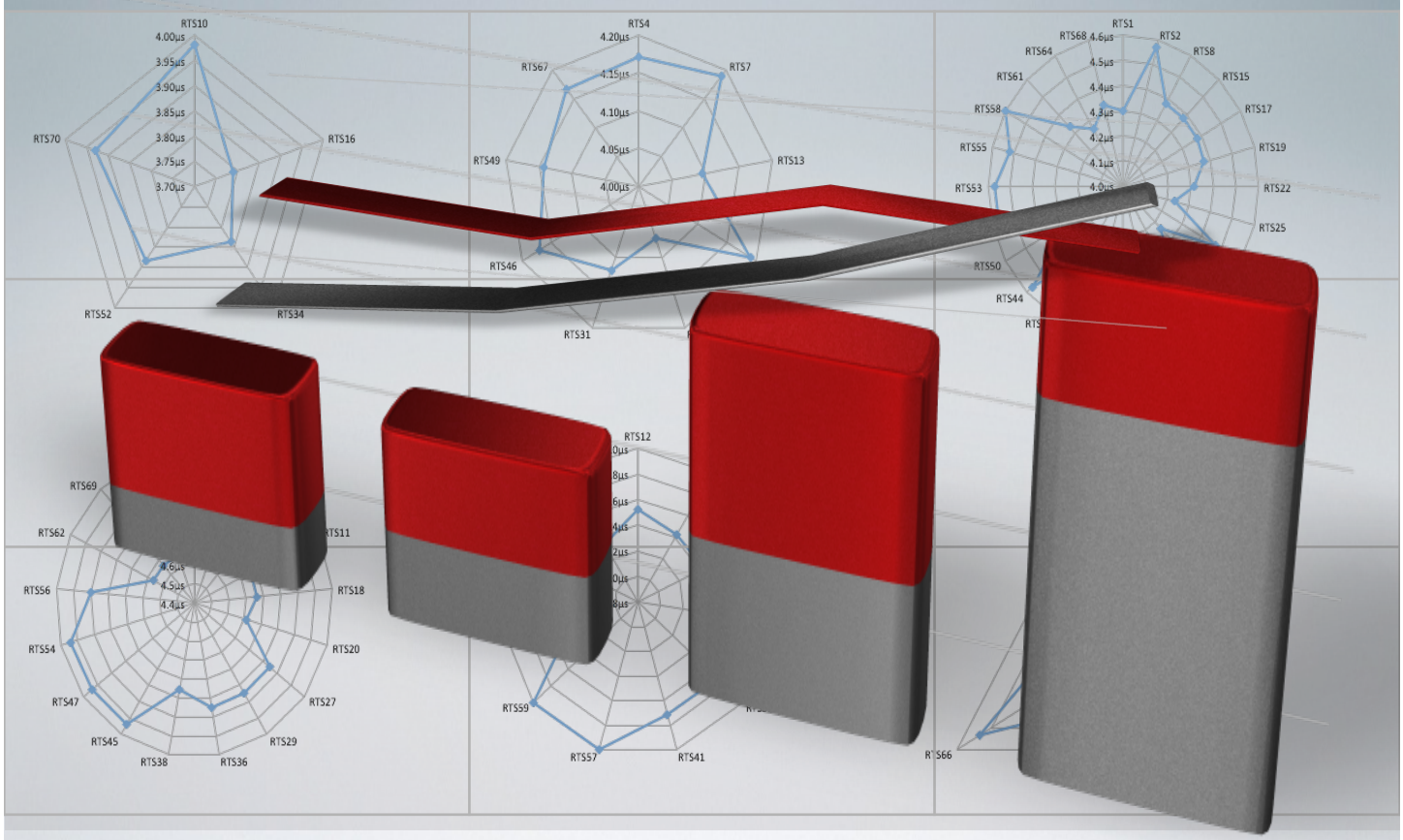
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ανάπτυξη Συστηματικής Μεθοδολογίας Δυναμικής Διαχείρισης Πόρων Σε Ενσωματωμένα Συστήματα

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Νικόλαος Ζομπάκης



Αθήνα, Ιανουάριος 2014

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ανάπτυξη Συστηματικής Μεθοδολογίας Δυναμικής Διαχείρισης Πόρων Σε Ενσωματωμένα Συστήματα

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Νικόλαος Ι Ζομπάκης

Συμβουλευτική Επιτροπή : επιβλ. επικ. καθ. Δημήτριος Ι Σούντρης
καθ. Κιαμάλ Ζ Πεκμεστζή
επικ. καθ. Γεώργιος Οικονομάκος

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 31η Μήνα Έτος.

.....
Δημήτριος Σούντρης
Επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.
(Επιβλέπων)

.....
Κιαμάλ Πεκμεστζή
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Οικονομάκος
Επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Στασινόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Θεοδωρίδης
Επίκ. Καθηγητής (Παν/μιο Πάτρας)

.....
Διονύσιος Ρεΐσης
Επίκ. Καθηγητής ΕΚΠΑ

.....
Αθανάσιος Παναγώπουλος
Επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιαν. 2014

.....

Νικόλαος Ι Ζομπάκης

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικόλαος Ι Ζομπάκης, 2013ς.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Τα προηγμένης γενιάς ασύρματα δίκτυα υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα από πρωτόκολλα επικοινωνίας και υπηρεσίες ανοίγοντας νέες προκλήσεις σχεδιασμού. Η επιθυμητή ευελιξία προϋποθέτει αποτελεσματική εκμετάλλευση των πόρων του συστήματος. Ένα ευρέως γνωστό παράδειγμα τεχνολογίας με αυτά τα χαρακτηριστικά είναι οι πλατφόρμες Software Defined Radio (SDR). Τα SDR τερματικά παίζουν σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση συμπαγούς και συνεχούς λειτουργίας στα τέταρτης γενιάς δίκτυα. Τα συστήματα αυτά έχουν υψηλές απαιτήσεις υλοποίησης εισάγοντας υψηλή δυναμικότητα ως προς την χρήση των πόρων. Πολύ συχνά αυτές οι συσκευές εμφανίζουν παροδικές υπερφορτώσεις λόγω υψηλού φόρτου εργασίας (workload burst) ή πιθανών δυσλειτουργιών στο υλικό (reliability). Έτσι αυτό του είδους τα συστήματα σχεδιάζονται ώστε να αποκρίνονται στην εμφάνιση κάθε πιθανού σεναρίου.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή επικεντρώνεται σε αυτές τις σχεδιαστικές προκλήσεις χρησιμοποιώντας την έννοια των σεναρίων συστήματος (system scenarios) προτείνοντας λύσεις ειδικά για ασύρματα συστήματα επικοινωνιών. Εξετάζονται τα ειδικά χαρακτηριστικά των SDR ασύρματων πλατφόρμων με επίκεντρο την επεξεργασία σήματος βασικής ζώνης. Αναλύονται οι βασικές ροές λειτουργίας και τα κριτήρια καθορισμού των σεναρίων. Επιπλέον η συνεισφορά δεν περιορίζεται στην εφαρμογή των σεναρίων συστήματος. Προτείνονται νέες επεκτάσεις της μεθοδολογία όσο αναφορά την ομαδοποίηση των συμπεριφορών του συστήματος σε σενάρια και την ανίχνευση αυτών των σεναρίων σε πραγματικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, μελετώνται οι κύριοι συμβιβασμοί μεταξύ της υπερεκτίμησης ομαδοποίησης των καταστάσεων λειτουργίας σε σενάρια (το οποίο σχετίζεται με το πόσο αντιπροσωπευτικά είναι τα εξαγόμενα σενάρια σε σχέση με τις καταστάσεις που αντιπροσωπεύουν), σε σχέση με το κόστος ανίχνευσης των σεναρίων σε πραγματικό χρόνο (προτείνοντας μετασχηματισμούς στην υλοποίηση των γράφων ανίχνευσης των σεναρίων) και το κόστος εναλλαγής των σεναρίων, το οποίο αντιπροσωπεύει το κόστος διαμόρφωσης της πλατφόρμας από τις εναλλαγές των σεναρίων .

Για τις ανάγκες της μελέτης μας αναπτύξαμε ένα ευέλικτο πλαίσιο προσομοίωσης, συνδυάζοντας ένα coarse grain SDR προσομοιωτή, ο οποίος παρέχει τα βασικά συστατικά λειτουργίας ενός SDR τερματικού (όπως είναι επεξεργαστές βασικής ζώνης, αποκωδικοποιητές, το κανάλι διασύνδεσης των τερματικών), με ένα περιβάλλον προσομοίωσης το οποίο υλοποιεί την διασύνδεση των στοιχείων της SDR πλατφόρμας σε μία Network-on-Chip (NoC) αρχιτεκτονική παρέχοντας μετρήσεις ακριβείας ως προς τους κύκλους ρολογιού (cycle accurate). Αυτού του είδους η ροή προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα πρώιμο στάδιο σχεδιασμού ώστε να επιτευχθεί ο ακριβής χαρακτηρισμός λειτουργίας μιας εν δυνάμει SDR πλατφόρμας καθώς και η εύρεση των βέλτιστων διαμορφώσεων λειτουργίας της. Το πλήθος των παραμέτρων λειτουργίας κατέστησαν απαραίτητη την αυτοματοποίηση της διαδικασίας εξερεύνηση της πλατφόρμας κατά την προσομοίωση κάτι το οποίο επιτεύχθηκε μέσω δύο wrapper που υλοποιούν την διεπαφή μεταξύ των δύο στρωμάτων προσομοίωσης, εξασφαλίζοντας την αυτόματη εκτέλεση του πλαισίου προσομοίωσης και κατά συνέπεια την αυτόματη εξερεύνηση των διαφορετικών διαμορφώσεων. Έτσι μπορούν τα αξιολογηθούν ένα σύνολο από συμβιβασμοί κόστους πριν την τελική ανάπτυξη της πλατφόρμας. Στόχος είναι να επιτευχθεί μια αποτελεσματική αξιοποίηση των πόρων διατηρώντας το κόστος επαναδιαμόρφωσης με βάση τα σενάρια σε λογικά επίπεδα.

Ακριβέστερα, κατά την πρώτη μελέτη περίπτωσης (case study), εξετάζεται το πρωτόκολλο επικοινωνίας 802.11n. Στόχος είναι να εξαχθούν σενάρια λειτουργίας του

πρωτοκόλλου που θα επιτρέψουν στο σύστημα να πετύχει καλύτερη αξιοποίηση των πόρων με βάση την τρέχουσα κατάσταση λειτουργίας χωρίς να υπονομεύεται η ποιότητα υπηρεσιών του πρωτοκόλλου. Σε αυτήν την κατεύθυνση ορίζονται σενάρια που επιτυγχάνουν μια μείωση των «αδρανών» χρόνων λειτουργίας κατά μέσο όρο 92% σε σύγκριση με την χειρότερη περίπτωση. Παράλληλα εξασφαλίζεται ότι ο ρυθμός εναλλαγής των σεναρίων καθώς και ο αριθμός τους παραμένει χαμηλός διατηρώντας το κόστος ανίχνευσης των σεναρίων σε λογικά επίπεδα. Στην δεύτερη μελέτη περίπτωσης, επικεντρωνόμαστε στην διαχείριση της ισχύος σήματος για το ίδιο πρωτόκολλο (802.11n) καθώς η κατανάλωση ενέργειας στην εκπομπή και λήψη σήματος αντιπροσωπεύει τουλάχιστον το 50% της συνολικής κατανάλωσης ενός ασύρματου συστήματος. Πιο συγκεκριμένα αναπτύσσεται μια τεχνική κλιμάκωσης της ισχύς του εκπεμπόμενου σήματος με βάση το τρέχον σενάριο μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας στις κεραίες 50-94%. Τα αποτελέσματα και στις δύο περιπτώσεις είναι ενθαρρυντικά και αποδεικνύουν ότι η μεθοδολογία σεναρίων συστήματος μπορεί να επιτύχει σημαντική βελτίωση στην δυναμική αξιοποίηση πόρων σε ασύρματα συστήματα και να διαχείριση την πολυπλοκότητα τους.

Τέλος, στην τελευταία ενότητα, προτείνουμε μια συστηματική μεθοδολογία ανάλυσης και πρόβλεψης της διακύμανσης του φόρτου εργασίας (workload) βασιζόμενοι σε προηγμένα μαθηματικά εργαλεία από το χώρο της Θεωρίας του Χάους. Η ανάλυση γίνεται στην βάση εξέτασης χρονοσειρών που αντιπροσωπεύουν τον όγκο δεδομένων προς επεξεργασία. Η ανάλυση γίνεται σε βήματα που ανιχνεύουν το είδος της μεταβολής των δεδομένων και αξιολογούν την δυνατότητα πρόβλεψης τους. Το πλεονέκτημα της προσέγγισής είναι ότι μπορούμε να αναλύσουμε φόρτους εργασίας (data-workloads) με υψηλή πολυπλοκότητα διακύμανσης, χωρίς να απαιτείται γνώση των προδιαγραφών της εφαρμογής στόχου. Για την αξιολόγηση της προσέγγισής εφαρμόζεται μια τεχνική DFS που βασίζεται στην δυναμική πρόβλεψη του όγκου δεδομένων με βάση τα σενάρια, προσομοιώνοντας μια σύνθετη δυναμική πολυνηματική εφαρμογή σε ένα NOC προσομοιωτή. Με την προτεινόμενη στρατηγική DFS επιτυγχάνεται αξιοσημείωτη βελτίωση της κατανάλωσης ενέργειας, που κυμαίνεται από 17,5% (hard deadlines) έως 37,8% (soft deadlines), ανάλογα με τους χρονικούς περιορισμούς της εφαρμογής.

Περιεχόμενα

Περίληψη **6**

1. Εισαγωγή **10**
1.1 SDR Λειτουργικά Χαρακτηριστικά **11**
1.2 SDR Βασική Αρχιτεκτονική **13**
1.3 Καθορισμός Προβλήματος **15**
1.4 Προτεινόμενη Λύση **18**
1.5 Περιεχόμενα Διατριβής **24**

2. Μεθοδολογία Σεναρίων Συστήματος **26**
2.1 Σενάρια Χρήσης & Σενάρια Συστήματος **28**
2.2 Μεθοδολογία Σεναρίων Συστήματος **30**
2.2.1 Εισαγωγή 30
2.2.2 Θεμελιώδη Μεθοδολογίας 30
2.2.3 Βήματα Μεθοδολογίας σε Ενσύρματες Phy-Oriented Πλατφόρμες 33
2.2.3.1 Αναγνώριση (Identification) 33
2.2.3.1.1 Εσωτερικές Μεταβλητές 35
2.2.3.1.1.1 MTG Μοντέλο Περιγραφής 35
2.2.3.1.2 Ανάλυση PHY-Oriented Ασύρματων Πλατφόρμων 36
2.2.3.1.3 Μετατροπή Αναλογικού Σήματος Σε Ψηφιακό – Μοντέλο περιγραφής 39
2.2.3.1.4 Ψηφιακή Επεξεργασία Βασικής Ζώνης – «Γκρι» Μοντέλο 40
2.2.3.1.5 Εξωτερικές Μεταβλητές 43
2.2.3.1.5.1 Μεταβλητές Δεδομένων 43
2.2.3.2 Χαρακτηρισμός (Characterization) 44
2.2.3.3 Ομαδοποίηση (Clustering) 46
2.2.3.4 Ανίχνευση (Detection) 47
2.2.3.5 Εναλλαγή (Switching) 50
2.3 Συμβολή Διατριβής στην Μεθοδολογία **53**
2.3.1 Ομαδοποίηση (Clustering), Ανίχνευση (Detection) & Εναλλαγή (Switching) – Βελτιστοποιήσεις και Συμβιβασμοί 53
2.3.2 Μετασχηματισμοί στο Διάγραμμα Ανίχνευσης 57

3. Εξερεύνηση SDR Αρχιτεκτονικής Σε NoC Περιβάλλον Προσομοίωσης **60**
3.1 Εισαγωγή **60**
3.2 Ροή Προσομοίωσης **61**
3.3 Περιβάλλον Προσομοίωσης **63**
3.3.1 Υψηλό Επίπεδο Προσομοίωσης 63
3.3.1.1 Περιγραφή Λειτουγίας 64
3.3.1.1.1 Εικονικός Διακομιστής 64
3.3.1.1.1.1 Μοντέλο Χρόνου 65
3.3.1.1.1.2 Μοντέλο Εύρους Ζώνης 66
3.3.1.1.1.3 Logger 67
3.3.1.1.2 Τερματικός Πελάτης(Terminal Client) 68
3.3.2 Προσομοίωση Διασύνδεσης Network–On-Chip 69
3.3.2.1 NNSE: Nostrum NoC Περιβάλλον Προσομοίωση 69
3.3.2.2 Nostrum Γενική Δομή 70
3.3.2.3 AMBA AXI Πρωτόκολλο 71
3.3.2.4 Αρχεία Βασικού Πυρήνα Προσομοίωσης 74
3.4 Συμπεράσματα Και Παρατηρήσεις **76**

4. Μελέτες Εργασίας & Σενάρια Συστήματος **77**
4.1 Ασύρματες PHY-Oriented Πλατφόρμες & Σενάρια Συστήματος **77**
4.2 Μελέτη Εργασίας I **77**
4.3 Μελέτη Εργασίας II **82**

4.4 Συμπεράσματα και Παρατηρήσεις **90**

5. Ανάλυση Φόρτου Εργασίας (Workload) **91**

5.1 Εισαγωγικά **91**

5.2 Workload Analysis Methodology **93**

5.3 Μελέτη Εργασίας-Δυναμική Διαχείριση Συχνότητας **101**

5.3.1 Σύνοψη Εφαρμογής 101

5.3.2 Ανάλυση Φόρτου Εργασίας (Workload Analysis) 103

5.3.3 Τεχνική DFS βάση της Workload Ανάλυσης 108

5.3.4 Αποτελέσματα DFS Προσομοίωσης 108

5.4 Συμπεράσματα και Παρατηρήσεις **109**

6. Επίλογος **110**

6.1 Συμβολή Διατριβής **110**

6.2 Μελλοντικοί Ερευνητικοί Στόχοι **111**

Αναφορές **113**

Ευχαριστίες **118**

Δημοσιεύσεις **119**

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η ασύρματη τεχνολογία έχει ανοίξει νέους ορίζοντες στα μέσα και τους τρόπους που οι χρήστες επικοινωνούν μεταξύ τους. Ζούμε σε ένα πολύ ανταγωνιστικό περιβάλλον, όπου οι ασύρματες συσκευές θεωρούνται ξεπερασμένες πολύ σύντομα μετά την σχεδίαση τους. Η ασύρματη επικοινωνία υπάρχει σε ένα πλήθος από τεχνολογίες, όπως τα κινητά τηλέφωνα, τους tablet υπολογιστές και τις ψηφιακές τηλεοράσεις. Διαφορετικού τύπου εφαρμογές απαιτούν διαφορετικά πρότυπα επικοινωνίας (communication standards). Παρά το γεγονός ότι όλα αυτά τα συστήματα έχουν σχεδόν παρόμοια συστατικά, ο τρόπος που αυτά συμπεριφέρονται διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό. Για την αντιμετώπιση των σχεδιαστικών προκλήσεων, αυτών των συστημάτων επικοινωνίας υιοθετούνται ανοικτές αρχιτεκτονικές με ευέλικτες διασυνδέσεις. Νέες προδιαγραφές εισάγονται στην υπάρχουσα υποδομή των δικτύων χωρίς να απαιτούνται νέες δαπάνες. Έτσι, με την μετάβαση από την μία γενιά στην επόμενη, οι νέες συσκευές είναι συμβατές τόσο με το υπάρχον δίκτυο όσο και τα «state of the art» δίκτυα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα σύγχρονα 4G δίκτυα όπου παρέχουν υψηλής ποιότητας υπηρεσίες (QoS) με την αξιοποίηση νέων καινοτόμων προϊόντων, τα οποία υποστηρίζουν έξυπνες συσκευές με υψηλών επιδόσεων στοιχεία επεξεργασίας σήματος [1]. Οι απαιτήσεις στο νέο ασύρματο περιβάλλον δημιουργεί προκλήσεις που οι κλασικές hardware-based συσκευές δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν.

Πιο συγκεκριμένα, τα παραδοσιακά ασύρματα ολοκληρωμένα «radio chips» έχουν σχεδιαστεί για συγκεκριμένες λειτουργίες οι οποίες υποστηρίζουν ένα μοναδικό πρότυπο επικοινωνίας. Μία τυπική συσκευή διαθέτει διαφορετικά chips για να δημιουργήσει μια ποικιλία από συνδέσεις, ένα chip για να επικοινωνήσει με ένα κινητό τηλέφωνο, ένα άλλο για να επικοινωνήσει με ένα Wi-Fi σταθμό βάσης, ένα τρίτο για την επεξεργασία των GPS σημάτων. Όλα αυτά τα ολοκληρωμένα υποστηρίζουν συγκεκριμένες περιοχές φάσματος και διαμορφώσεις. Έτσι, μετά την κατασκευή μίας ασύρματης συσκευής, βάση αυτών των προδιαγραφών αυτή η συσκευή υποστηρίζει ένα στενό εύρος εφαρμογών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η επεκτασιμότητα «scalability» μίας συσκευής να περιορίζεται μόνο στη βελτίωση της διεπαφής με τον χρήστη (user interface), χωρίς να παρέχει πραγματική επέκταση λειτουργιών. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση δεν είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις συνεχώς μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των σύγχρονων δικτύων .

Επιπλέον, η τυποποίηση στην ανάπτυξη νέων ασύρματων συσκευών είναι ένα βασικό ζήτημα, το οποίο απασχολεί έντονα την βιομηχανία. Η τυποποίηση είναι άκρως επιθυμητή διότι επιτρέπει σε νέα προϊόντα να έρχονται γρήγορα στην αγορά, περιορίζοντας το κόστος ανάπτυξης και σχεδιασμού. Είναι γεγονός ότι μία οικογένεια προϊόντων με κοινή αρχιτεκτονική υλικού απαιτεί πολύ λιγότερη προσπάθεια υλοποίησης. Σε αυτή την κατεύθυνση, η επιμέρους διαφοροποίηση της λειτουργικότητας μπορεί να υλοποιηθεί μέσω λογισμικού τροποποίησης (modifiable software). Ο καθορισμός της λειτουργικότητας μέσω λογισμικού δίνει σημαντική ώθηση στις υπηρεσίες υποστήριξης (follow-on-support services). Το βασικό πλεονέκτημα είναι ότι νέες δυνατότητες μπορούν να προστεθούν στις υπάρχουσες συσκευές χωρίς να απαιτείται κανένας επιπλέον εξοπλισμός. Αναβαθμίζοντας το υπάρχον λογισμικό μπορεί να ενεργοποιηθούν εξ αποστάσεως νέα χαρακτηριστικά πιο προηγμένα και αποτελεσματικά που μειώνουν το κόστος επικοινωνίας ενώ οι υπηρεσίες διόρθωσης προβλημάτων (bug-fix) είναι σε θέση να μειώσουν το κόστος υποστήριξης μίας συσκευής που είναι ήδη σε λειτουργία. Έτσι, η μείωση του συνολικού κόστους λειτουργιών επιτρέπει στους τελικούς χρήστες να επικοινωνούν με όποιον χρειάζεται, όποτε χρειάζεται και με τον κατάλληλο τρόπο.

Ένα άλλο ανοιχτό ζήτημα είναι η αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου φάσματος. Το ασύρματο εύρος ζώνης είναι ένας σημαντικός πόρος, ο οποίος πρέπει να διανέμεται με δυναμικό τρόπο. Οι συμβατικές συσκευές μπορούν να μεταβάλουν την περιοχή εκπομπής τους μόνο μέσω παρεμβάσεων στο φυσικό επίπεδο κάτι μη ευέλικτο. Έτσι, το ενδιαφέρον να διερευνηθούν τρόποι που χρησιμοποιούν το φάσμα με ένα πιο αποτελεσματικό τρόπο, είναι αρκετά υψηλό. Η σωστή εκμετάλλευση του εύρους ζώνης συχνοτήτων εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, οι οποίες συνδυάζουν τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής και την δραστηριότητα μετάδοσης μέσα σε αυτό. Ο κύριος λόγος για την ανεπαρκή χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης είναι ο κατακερματισμός του φάσματος. Ακόμη και σε ένα περιβάλλον με υψηλή πυκνότητα ασύρματων μεταδόσεων, η εκμετάλλευση του φάσματος μπορεί να είναι μη αποτελεσματική. Ο λόγος είναι οι σημαντικές ποσότητες αχρησιμοποίητων τμημάτων φάσματος "white spaces", το οποία οφείλονται στα κενά μεταξύ των καναλιών μετάδοσης, τα οποία εξασφαλίζουν την αποφυγή των παρεμβολών. Ασύρματες συσκευές οι οποίες είναι σε θέση να εκμεταλλευτούν αχρησιμοποίητα τμήματα εύρους ζώνης ή περιοχές του φάσματος που η διαθεσιμότητα τους μεταβάλλεται βάση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών και των ρυθμιστικών καθεστώτων, μπορούν να βελτιώσουν την αξιοποίηση του φάσματος. Σε αυτό το πλαίσιο, οι δυνατότητες επαναδιαμόρφωσης (reconfigurability) είναι το σημείο κλειδί για την ασύρματη βιομηχανία.

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις προηγούμενες προκλήσεις, η σύγχρονη τάση στην ασύρματη βιομηχανία είναι υλοποιήσεις βασισμένες σε ανοικτές αρχιτεκτονικές ικανές να αντιμετωπίσουν την ταχεία ανάπτυξη των προτύπων επικοινωνίας. Η επαναδιαμόρφωση αφορά μία ασύρματη συσκευή η οποία υποστηρίζει πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων και διαμορφώσεις που προσαρμόζονται στην κατάσταση λειτουργίας. Ένα επιπλέον κίνητρο για μια τέτοια σχεδιαστική προσέγγιση είναι το γεγονός ότι οι συνήθεις διαδικασίες, όπως το φιλτράρισμα, η αποκωδικοποίηση, η διαμόρφωση σήματος, μπορούν επίσης να επωφεληθούν από τα οφέλη που προσφέρονται από μια τέτοια γενικού σκοπού αρχιτεκτονική [2].

Ένα πολύ γνωστό παράδειγμα μιας πλατφόρμας με αυτές τις δυνατότητες είναι οι Software Defined Radio (SDR) συσκευές [83], οι οποίες ολοκληρώνουν πολλαπλά πρότυπα επικοινωνίας σε ένα ενιαίο πλαίσιο υλοποίησης. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι μεγάλο μέρος από τις λειτουργίες τους υλοποιείται μέσω λογισμικού, που εκτελείται σε έναν ή πολλαπλούς επεξεργαστές, αφήνοντας μόνο τις λειτουργίες υψηλών απαιτήσεων να υλοποιηθούν εξολοκλήρου σε hardware. Αυτές οι συσκευές βασίζονται στον επαναπρογραμματισμό, που επιτρέπει στο ίδιο υλικό να συμπεριφέρεται διαφορετικά σε διαφορετικές καταστάσεις.

1.1 SDR Λειτουργικά Χαρακτηριστικά

Η Software Define Radio (SDR) τεχνολογία είναι μια αποτελεσματική συγχώνευση τεχνολογιών, που συνδυάζει λογισμικό και υλικό κατά τέτοιο τρόπο ώστε λειτουργίες που υλοποιούνται σε φυσικό επίπεδο να είναι τροποποιήσιμες από λογισμικό. Το Wireless Innovation Forum, σε συνεργασία με Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) P1900.1 group, έχει θεσπίσει έναν ορισμό των SDR συσκευών που παρέχει μια σαφή εικόνα των σχετιζόμενων με αυτά τεχνολογιών. Έτσι σαν Software Defined Radio

πλατφόρμα ορίζεται ως "Μία ασύρματη συσκευή όπου κάποια ή όλα τα επίπεδα λειτουργίας της καθορίζονται από λογισμικό "[1].

Η SDR σχεδίαση καθορίζει ένα πλαίσιο τεχνολογιών υλικού και λογισμικού μέσα στο οποίο μέρος ή το σύνολο των λειτουργιών της ασύρματης υλοποίησης πραγματοποιείται μέσω επαναπρογραμματιζόμενου λογισμικού. Η χρήση της SDR προσέγγισης επιτρέπει μεγαλύτερη ελευθερία προσαρμογής, υψηλότερα επίπεδα απόδοσης και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών. Η προσαρμογή έχει την έννοια της ανίχνευσης των αλλαγών σε πραγματικό χρόνο και την ιεράρχηση των παραμέτρων του συστήματος για εξασφάλιση καλύτερης απόδοσης. Σε θεωρητική βάση, η επιλογή του κατάλληλου λογισμικού σε ένα SDR chip μπορεί να πραγματοποιήσει κάθε επιμέρους λειτουργία, που λαμβάνει χώρα σε μία ασύρματη συσκευή. Η ιδέα είναι να μεταφερθούν οι κομβικές ασύρματες λειτουργίες σε λογισμικό, επιτρέποντας επεκτάσεις χωρίς αλλαγές υλικού. Έτσι, η SDR αρχιτεκτονική στοχεύει στον επαναπρογραμματισμό μιας πλατφόρμας γενικού σκοπού που θα μπορεί να πραγματοποιήσει κάθε ασύρματη λειτουργία.

Μετά από μια μακρά περίοδο από την πρώτη εισαγωγή της έννοια του Software Defined Radio [3] φαίνεται να είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για την ενσωμάτωση των υφιστάμενων και των αναδυόμενων προτύπων επικοινωνίας σε μία πλατφόρμα. Η πρώτη SDR προσέγγιση περιοριζόταν μόνο στο επίπεδο της αντικατάστασης των τμημάτων του ασυρμάτου υλικού από κάποια πιο ευπροσάρμοστα και επαναπρογραμματιζόμενα τμήματα. Μετέπειτα η έννοια επεκτάθηκε συμπεριλαμβάνοντας την επαναδιαμόρφωση των εφαρμογών και των υπηρεσιών μέσω των υποστηριζόμενων δικτύων. Η αιτία αυτής της εξέλιξης είναι ότι η ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχουν οι εφαρμογές επηρεάζονται από τον τρόπο μετάδοσης και λειτουργίας των δικτύων ως εκ τούτου, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την λήψη αποφάσεων επαναδιαμόρφωσης.

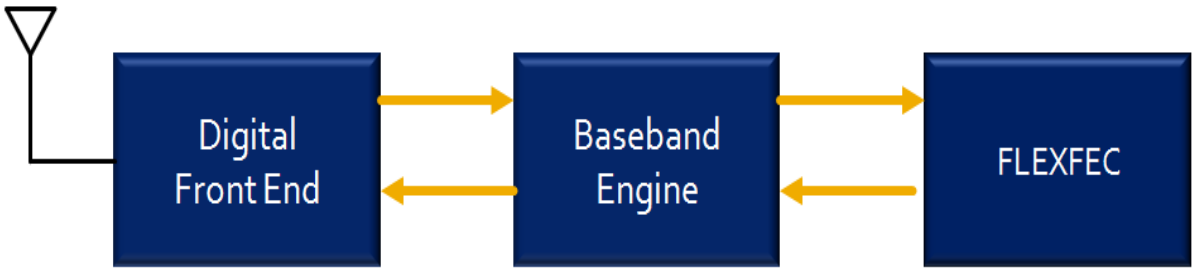
Η προηγμένη SDR τεχνολογία έχει να χειριστεί όχι μόνο τις κύριες προκλήσεις της υψηλής απόδοσης, αλλά και τους περιορισμούς της φορητότητας. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι SDR συσκευές έχουν γίνει πολύ πιο περίπλοκες, λόγω της εισαγωγής ολοένα και περισσότερης λειτουργικότητας σε μία εφαρμογή, και λόγω της υποστήριξης πολλαπλών υπηρεσιών περιλαμβάνουν ταυτόχρονα ένα ευρύ φάσμα πρωτοκόλλων επικοινωνίας και υπηρεσιών. Έτσι, οι SDR πλατφόρμες επικοινωνούν με άλλες πλατφόρμες χρησιμοποιώντας πολύπλοκα σχήματα επικοινωνίας. Η ευελιξία σύνδεσης περιορίζεται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της ίδιας της πλατφόρμας. Αυτές οι συσκευές έχουν αυστηρές απαιτήσεις σχετικά με το μέγεθος, την απόδοση και την κατανάλωση ισχύος. Η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας είναι το κλειδί για τη μεγιστοποίηση της διάρκεια ζωής της μπαταρίας μεταξύ των φορτίσεων. Επιπλέον, οι σύγχρονες αρχιτεκτονικές SDR διευρύνουν λόγω πολυπλοκότητας το χάσμα μεταξύ της μέσης κατάστασης λειτουργίας και του χειρότερου σεναρίου από άποψη χρόνου εκτέλεσης των εφαρμογών. Η αποτελεσματική αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων με βάση τις τρέχουσες συνθήκες και με το ελάχιστο κόστος διαμόρφωσης είναι απαραίτητη. Προσαρμογή του συστήματος μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε επίπεδο εφαρμογής, επιλέγοντας μια αποτελεσματική τεχνική χαρτογράφησης, ή σε επίπεδο πλατφόρμας, π.χ. με δυναμική προσαρμογή της συχνότητας (DFS).

Έτσι, η ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων χρονοπρογραμματισμού των διαθέσιμων πόρων είναι, χωρίς αμφιβολία, μια επιτακτική ανάγκη. Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις σχεδιασμού με βάση το χειρότερο σενάριο αφήνουν πολλά περιθώρια βελτιστοποίησης με προϋπόθεση την έγκαιρη πρόβλεψη της δυναμικής χρήσης των πόρων σε χρόνο εκτέλεσης. Αυτή η διατριβή προτείνει ένα συστηματικό τρόπο διαχείρισης των πόρων ενός δυναμικού συστήματος μέσω μιας μεθοδολογία, ιεράρχησης τη συμπεριφορά ενός ασύρματου συστήματος από την πλευρά των πόρων.

1.2 SDR Βασική Αρχιτεκτονική

Η SDR αρχιτεκτονική μπορεί να διακριθεί σε δύο βασικές κατηγορίες 1) στο αναλογικό τμήμα που περιλαμβάνει όλα τα εξαρτήματα επεξεργασίας του αναλογικού σήματος (π.χ. κεραίες, ενισχυτές, φίλτρα, μεικτές) πριν αυτό μετατραπεί σε ψηφιακό και 2) στο ψηφιακό τμήμα που αντιστοιχεί στην ψηφιακή επεξεργασία και περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα στοιχείων επεξεργασίας, όπως DSPs, FPGAs, System-on-Chip (SoC). Η κύρια τάση στις SDR αρχιτεκτονικές είναι να τοποθετηθεί η μετατροπή A/D και D/A πλησιέστερα στην κεραία. Ο λόγος είναι ότι αυτές οι διεργασίες χαρακτηρίζονται από θεμελιώδεις περιορισμούς οι οποίοι συσχετίζονται με το φυσικό επίπεδο της κεραίας. Έτσι, εφόσον περιορίζεται το αναλογικό μέρος, διευρύνεται το ψηφιακό και η αντίστοιχη παρεχόμενη ευελιξία στο σύστημα.

Το πλαίσιο αυτής της διατριβής επικεντρώνεται στις διεργασίες, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο τμήμα της ψηφιακή επεξεργασίας σήματος. Μια τυπική SDR αρχιτεκτονική χαρακτηρίζεται από τρία βασικά δομικά μέρη (Εικόνα 1) 1) το Digital Front-End (DFE) μπλοκ, το οποίο αντιπροσωπεύει τη διεπαφή μεταξύ της κεραίας και της ψηφιακή επεξεργασία του σήματος 2) το μπλοκ βασικής ζώνης (Baseband engine) το οποίο υλοποιεί τις βασικές λειτουργίες ψηφιακής επεξεργασίας και 3) το Flexible Forward Error Correction (FLEXFEC) μπλοκ, το οποίο είναι υπεύθυνο για την κωδικοποίηση, την αποκωδικοποίηση και την διόρθωση πιθανόν λαθών του σήματος. Σε κάθε μπλοκ μπορεί να υπάρχει ένας ή πολλαπλός αριθμός επεξεργαστών. Πιο συγκεκριμένα, μια περίληψη της λειτουργικότητας αυτών των επιπέδων επεξεργασίας είναι ο ακόλουθος:



Εικόνα 1. SDR Βασική αρχιτεκτονική

DFE

Οι DFE επεξεργαστές είναι υπεύθυνοι για την ανάκτηση του σήματος και τον συγχρονισμό των εισερχόμενων ροών δεδομένων. Επίσης αντιπροσωπεύουν τη διεπαφή του συστήματος με το εξωτερικό περιβάλλον. Είναι υπεύθυνοι για την μετατροπή του εισερχόμενου σήματος από την RF περιοχή στην περιοχή βασικής ζώνης. Εφαρμόζουν δειγματοληψία προσαρμόζοντας το φιλτράρισμα [5] του σήματος στις τρέχουσες ανάγκες. Επίσης ανιχνεύουν τις περιοχές φάσματος [4]σαρώνοντας πολλαπλές ζώνες για τον εντοπισμό κενών χώρων «white spaces» στην περιοχή του φάσματος και την παρουσία γειτονικών ασύρματων δικτύων.

BBE

Τα BBEs υλοποιούν την διαμόρφωση και την αποδιαμόρφωση των εισερχομένων σημάτων. Η διαμόρφωση είναι μια διαδικασία χαρτογράφηση μιας ακολουθίας δυαδικών ψηφίων δεδομένων σε ειδικά διαμορφωμένες κυματομορφές σήματος, τα οποία μεταδίδονται μέσω του αέρα. Η αποδιαμόρφωση είναι η αντίστροφη διαδικασία τα δεδομένα ανακτώνται στον δέκτη από ένα εισερχόμενο σήμα. Δημοφιλείς διαμορφώσεις που χρησιμοποιούνται ευρέως στις ασύρματες επικοινωνίες είναι: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM. Επίσης, τα BBEs είναι υπεύθυνα για την παρακολούθηση των αλλαγών στη συμπεριφορά του ασύρματου καναλιού. Πιθανές παραλλαγές στα χαρακτηριστικά του διαύλου μπορεί να προκαλέσουν παραμορφώσεις στο σήμα οι οποίες έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα της αποδιαμόρφωσης. Επίσης τα BBE μπορεί να ενεργοποιήσουν τεχνικές ευθυγράμμισης του σήματος.

FLEXFEC

Τα FLEXFECs υλοποιούν την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση των εισερχόμενων δεδομένων. Η κωδικοποίηση επιτρέπει την ανάκτηση των δεδομένων από πιθανά σφάλματα του σήματος χωρίς να απαιτείται η αναμετάδοση του. Λάθη συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της μετάδοσης από πιθανές διακαναλικές παρεμβολές, παρεμβολές μεταξύ συμβόλων ή από πηγές θορύβου. Η πιο ευρέως γνωστές κωδικοποίησης οι οποίες χρησιμοποιούνται από την πλειοψηφία των ασύρματων δικτύων, είναι η Convolutional και η Turbo κωδικοποίηση [6]. Πρόσφατα έχουν υιοθετηθεί πιο αποτελεσματικά σχήματα κωδικοποίησης, όπως οι low-density parity check (LDPC) κώδικες [7].

Οι επεξεργαστές σε μια SDR πλατφόρμα μπορεί να διαμορφωθούν και να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό. Ο αριθμός των επεξεργαστών σε κάθε επίπεδο εξαρτάται από τις επιμέρους απαιτήσεις της πλατφόρμας. Για παράδειγμα, η υλοποίηση των MIMO σχημάτων επικοινωνίας, προϋποθέτει την ύπαρξη πολλαπλών DFEs και BBEs για την παραλαβή και επεξεργασία των σημάτων από τα ασύρματα κανάλια. Οι επεξεργαστές σε ένα επίπεδο λειτουργίας μπορούν να συνεργαστούν με οποιοδήποτε επεξεργαστή του επόμενου επιπέδου επεξεργασίας (π.χ. DFE1 ⇒ BBE1 ή DFE1 ⇒ BBE2 και BBE1 ⇒ FLEXFEC1 ή BBE1 ⇒ FLEXFEC2) παρέχοντας την απαραίτητη ευελιξία στην αξιοποίηση των πόρων πετυχαίνοντας ομοιόμορφη κατανομή δεδομένων. Η μόνη προϋπόθεση είναι ο συγχρονισμός στην διασύνδεσης μεταξύ των μπλοκς επεξεργασίας.

Η αρχιτεκτονική SDR εμφανίζει ειδικές προδιαγραφές λειτουργίας και αρκετά ετερογενή χαρακτηριστικά. Στην ίδια πλατφόρμα ενσωματώνονται διαφορετικές διεπαφές από διαφορετικά στοιχεία επεξεργασίας σήματος με υψηλές απαιτήσεις διασύνδεσης. Η παραδοσιακή προσέγγιση, όπου όλα τα στοιχεία επεξεργασίας συνδέονται με ένα κεντρικό δίαυλο δεν αποτελεί αποτελεσματική λύση. Η ύπαρξη ενός μοναδικού κεντρικού διαύλου αναπόφευκτα θα δημιουργήσει συγκρούσεις στην επικοινωνία. Από αυτή την άποψη, το επίπεδο διασύνδεσης, που παρέχεται από ένα Network-on-Chip (NOC) δίκτυο [2], φαίνεται να είναι κατάλληλο για εφαρμογές SDR, παρέχοντας ένα τυποποίηση μηχανισμό διασύνδεσης. Οι Network-on-Chip (NOC) δίκτυα [8] παρέχουν λύσεις για την αντιμετώπιση συμβατικών προβλημάτων όσον αφορά τις απαιτήσεις επεκτασιμότητας και υψηλής απόδοσης.

Η Εικόνα 2 παρουσιάζει μια πραγματική αρχιτεκτονική SDR που προτείνεται από την IMEC [10]. Η πλατφόρμα μπορεί να υλοποιήσει εφαρμογές LTE και WLAN

υποστηρίζοντας MIMO σχήματα επικοινωνίας μέχρι 4x4. Η πλατφόρμα περιλαμβάνει τέσσερις μονάδες DFE μία για κάθε κεραία, δύο BBEs και δύο FLEXFEX. Η διασύνδεση μεταξύ των διαφόρων επιπέδων λειτουργίας πραγματοποιείται μέσο δύο cross-bars. Ένας επεξεργαστής ARM ελέγχει την κίνηση και τον επαναπρογραμματισμό των στοιχείων επεξεργασίας.

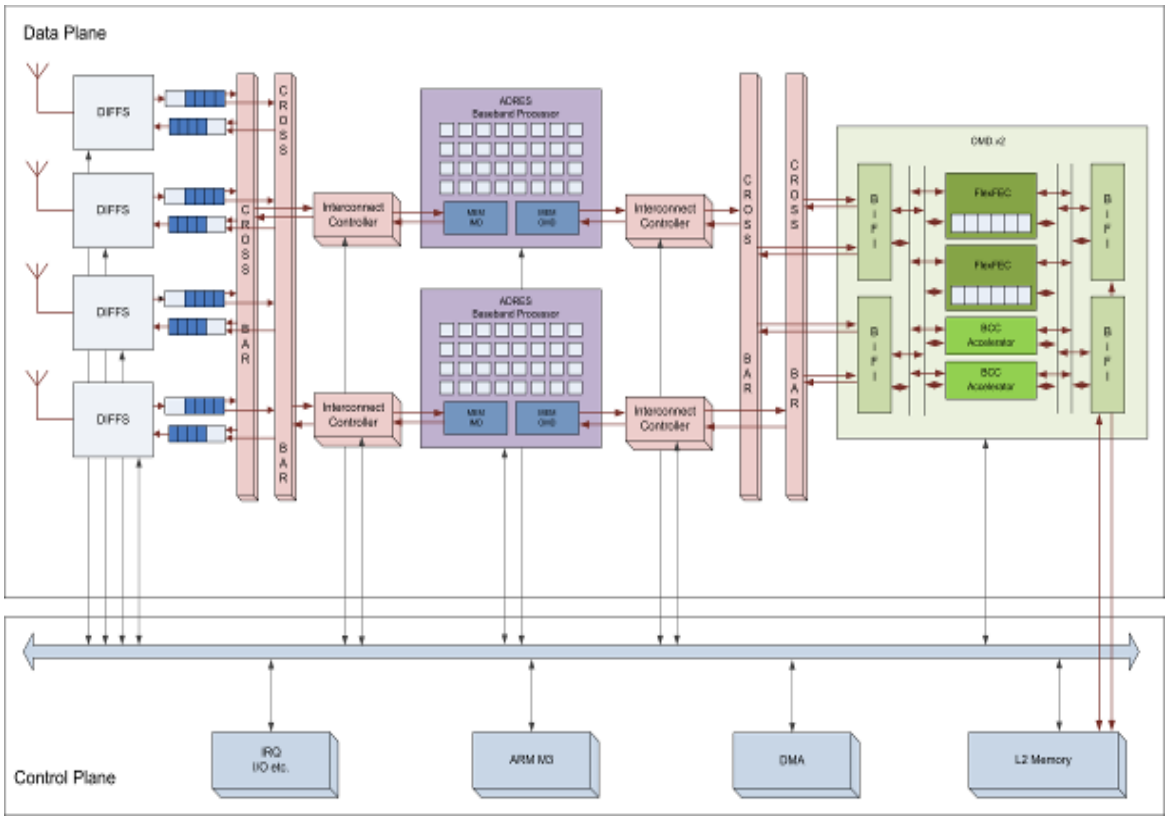


Figure 2. Cobra Platform [9]

1.3 Καθορισμός Προβλήματος

Η τεχνολογία SDR προσπαθεί να ενσωματώσει σε μια κοινή συσκευή όλα τα ασύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Αυτή η πρόκληση γίνεται πολύ μεγαλύτερη εάν συνδυαστεί με τους περιορισμούς της φορητότητας. Οι SDR πλατφόρμες αποτελούν μέρος των ενσωματωμένων συστημάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται από αυστηρούς περιορισμούς στην χρήση πόρων. Επιπλέον οι SDR αρχιτεκτονικές απαιτούν λύσεις υψηλής απόδοσης, τις οποίες μόνο τα MPSoC συστήματα μπορούν να παρέχουν [11]. Επιπλέον, η ετερογένεια στις SDR εφαρμογές αναδεικνύουν την ανάγκη για συσκευές υψηλής προσαρμοστικότητας και ευέλικτης λειτουργίας. Για να συνοψίσουμε τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των SDR συστημάτων είναι ότι θα πρέπει να είναι 1) υψηλής απόδοσης, 2) πραγματικού χρόνου και 3) χαμηλής κατανάλωσης ισχύος.

Τα MPSoCs έχουν σχεδιαστεί για να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των ενσωματωμένων εφαρμογών. Είναι στην πραγματικότητα το αποτέλεσμα του συνδυασμού των System on Chip συστημάτων με τα συστήματα πολλαπλής επεξεργασίας. Εν αντίθεση από τα desktop συστήματα, οι φορητές συσκευές απαιτούν όχι μόνο υψηλή απόδοση, αλλά και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η ανάπτυξη των κατάλληλων μεθόδων για τη διαχείριση της

κατανάλωσης ενέργειας, η οποία θα επεκτείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, είναι χωρίς αμφιβολία, μια επιτακτική ανάγκη. Η πλειοψηφία των ενσωματωμένων επεξεργαστών είναι σε θέση να υποστηρίξει πολλαπλά επίπεδα λειτουργίας που επιτρέπουν συμβιβασμούς μεταξύ του χρόνου εκτέλεσης και της εξοικονόμηση ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό, είναι σε θέση να επιτύχουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας με την κλιμάκωση της τάσης τροφοδοσίας τους. Διακύμανση στην τάση τροφοδοσία σημαίνει αντίστοιχα κλιμάκωση στην συχνότητας λειτουργίας. Οι ενσωματωμένες εφαρμογές συχνά έχουν περιορισμούς ως προς την διάρκεια του χρόνου εκτέλεσης, πράγμα που σημαίνει ότι οι διεργασίες τους θα πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί πριν από συγκεκριμένες προθεσμίες (deadlines). Ως προθεσμία (deadline) ορίζεται ο μέγιστος χρόνος απόκρισης μιας διεργασίας. Μεταξύ της ενεργοποίησης μιας διεργασίας και την προθεσμία εκτέλεσης της, ορίζεται ανά χρονικό περιθώριο στο οποίο πρέπει να ολοκληρωθεί. Αυτά τα χρονικά περιθώρια μπορεί να είναι στατικά ή να διακυμαίνονται μέσα σε μία δεδομένη μέγιστη και ελάχιστη τιμή. Ο χρόνος εκτέλεσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από ό, τι ο χρόνος μεταξύ της ενεργοποίησης και της λήξης της προθεσμία.

Τα ενσωματωμένα συστήματα βιώνουν μερικές φορές παροδικές υπερφορτώσεις λόγω δυσλειτουργιών εξοπλισμού ή εκρήξεις στο φορτίο επεξεργασίας (workload bursts). Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στο σχεδιασμό των εν λόγω συστημάτων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη εμφάνιση απροσδόκητων σεναρίων. Η ανάπτυξη έξυπνων τεχνικών που εστιάζουν τη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ σε αυτές τις επείγουσες περιπτώσεις και την ίδια στιγμή, επιβραδύνουν την επεξεργασία κατά τη διάρκεια ανενεργών περιόδων θα μπορούσε να είναι το κλειδί για την εξοικονόμηση ενέργειας. Μια άλλη σημαντική πτυχή είναι ο συμβιβασμός μεταξύ της επαναδιαμόρφωσης και της ενεργειακής απόδοσης. Τα πιο ενεργειακά αποδοτικά στοιχεία επεξεργασίας τείνουν να είναι λιγότερο επαναδιαμορφώσιμα και αντιστρόφως [12].

Στο πλαίσιο της ανάπτυξης μιας SDR συσκευής, οι σχεδιαστές θα πρέπει να αξιολογούν πολλαπλές αρχιτεκτονικές υλικού λαμβάνοντας υπόψη 1) την χαρτογράφηση της εφαρμογής (application mapping) 2) τους περιορισμούς της εφαρμογής 3) την ευελιξία διαμόρφωσης της πλατφόρμα (re-configurability) 4) και τις τελικές προδιαγραφές του προϊόντος (π.χ. τιμή, μέγεθος, απόδοση, ενέργεια). Οι SDR εφαρμογές πραγματικού χρόνου, μπορούν να διακριθούν σε hard real-time and soft real-time εφαρμογές. Ο στόχος του σχεδιασμού στην πρώτη περίπτωση είναι να εξασφαλίσει ότι όλες οι προθεσμίες τηρούνται χωρίς να δίνετε προτεραιότητα στο κόστος λειτουργίας. Στα soft real-time συστήματα, ο στόχος είναι να πετύχουμε ένα συγκεκριμένο υποσύνολο προθεσμιών προκειμένου να βελτιστοποιηθούν ειδικά χαρακτηριστικά λειτουργίας. Τα SDR ανήκουν στις hard real-time με χρονικούς περιορισμούς οι οποίες δεν μπορούν να παραβιαστούν ή αν συμβεί αυτό, η παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) θα μειωθεί δραματικά. Έτσι, η εκτίμηση του χρόνου εκτέλεσης κατά την σχεδίαση υπερεκτιμάται ώστε να διασφαλιστεί ότι οι προθεσμίες θα πληρούνται. Η παραδοσιακή προσέγγιση σε αυτό το πρόβλημα είναι το σύστημα να σχεδιαστεί με βάση το χειρότερο σενάριο, κάνοντας μια στατική ανάλυση της εφαρμογής κατά το χρόνο σχεδίασης [13].

Η προσέγγιση όμως αυτή δεν μπορεί να είναι αποτελεσματική για δυναμικές εφαρμογές όπως τις ασύρματες, όπου η αναλογία του φορτίου χειρότερης περίπτωσης σε σχέση με το μέσο φορτίο μπορεί να διέφερε κατά έναν παράγοντα 10 [14]. Αυτό δημιουργεί απαράδεκτη σπατάλη πόρων. Σε μια SDR πλατφόρμα (όπως στην Εικόνα 1) όπου υποστηρίζονται πολλαπλά σχήματα επικοινωνίας οι διεργασίες διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό και δεν είναι επαρκές να υπάρχει μια σταθερή διαμόρφωση του συστήματος για όλες τις περιπτώσεις. Για παράδειγμα, σε ένα παράδειγμα μετάδοσης κατά το οποίο είναι ενεργή μια LTE σύνδεση που υλοποιεί μία 1x1 επικοινωνία μεταξύ δύο πλατφόρμων είναι πολύ λιγότερο απαιτητική από άποψη πόρων σε σύγκριση με μια κατάσταση όπου περισσότερα ρεύματα επικοινωνίας

(streams) υφίσταται π.χ. ένα WLAN 2x2 stream σε συνδυασμό με ένα 2x2 LTE stream ταυτόχρονα. Αν και για τις δύο περιπτώσεις έχουμε μια σταθερή διαμόρφωση, ο ανεκμετάλλευτος χρόνος (idle time) στην χρήση των πόρων θα είναι πολύ μεγαλύτερος στην πρώτη περίπτωση σε σχέση με την δεύτερη.

Έτσι, οι περιορισμοί στην μεταβολή της απόδοσης επηρεάζουν την αποτελεσματική αξιοποίηση των πόρων εισάγοντας υψηλή πολυπλοκότητα στη διαδικασία σχεδιασμού. Αυτού του είδους οι διαφοροποιήσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη σε ένα πρώιμο στάδιο σχεδιασμού, όπου οι τελικές προδιαγραφές του συστήματος δεν έχουν ακόμα οριστεί. Η διερεύνηση όλων των πιθανών συνδυασμών μπορεί να δημιουργήσει ένα τεράστιο χώρο εξερεύνησης, όπου δεν υπάρχει καμία εγγύηση σχετικά με το ποιες λύσεις μπορεί να επιτύχουν τους καλύτερες συμβιβασμούς μεταξύ των απαιτήσεων απόδοσης και της αξιοποίηση των πόρων. Σε κάθε περίπτωση, οι SDR πλατφόρμες είναι hard deadline συστήματα και θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι όλοι οι χρονικοί περιορισμοί θα πρέπει να ικανοποιούνται. Η διαχείριση αυτή της πρόκληση με αποτελεσματικό τρόπο προϋποθέτει τον διαχωρισμό του συνολικού προβλήματος σε μικρότερα. Έτσι, όλη η λειτουργία του συστήματος χωρίζεται σε υποπεριπτώσεις και για κάθε σύνολο υποπεριπτώσεων μπορούμε να εκτιμήσουμε το χειρότερο σενάριο. Έτσι, αντί για μια καθολική εκτίμηση, έχουμε επιμέρους σενάρια.

Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου βασίζεται στην ύπαρξη τοπικών ορίων που καθορίζουν τις απαιτήσεις των πόρων αντί για ένα καθολικό όριο που θα ήταν πολύ υψηλότερο σε κόστος. Το χάσμα μεταξύ αυτών δημιουργεί ευκαιρίες για την καλύτερη αξιοποίηση των πόρων. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν ορισμένα εκκρεμή ζητήματα, τα οποία είναι κρίσιμα για την πολυπλοκότητα και την αποτελεσματικότητα αυτής της προσέγγισης σχεδιασμού και απασχολούν αυτή την διατριβή. Πιο συγκεκριμένα οι προκλήσεις μιας τέτοιας προσέγγισης είναι οι εξής:

1. Προσδιορισμός των επιμέρους run-time καταστάσεων του συστήματος. Μια προσέγγιση σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να είναι ένα εργαλείο (profiling tool), το οποίο παρακολουθεί την λειτουργία της εφαρμογής κατά το χρόνο εκτέλεσης. Αυτό προϋποθέτει μια περίοδο «εκπαίδευσης» από αντιπροσωπευτικές εκτελέσεις της εφαρμογής. Η λύση αυτή δεν συνιστάται για hard deadline συστήματα, διότι είναι δυνατόν ορισμένες περιπτώσεις να αγνοηθούν γεγονός που θα οδηγήσει σε πραγματικές συνθήκες την παραβίαση κάποιων προθεσμιών. Ο καθορισμός του χώρου διερεύνησης των καταστάσεων απαιτεί τον προσδιορισμό κάθε πηγής μεταβολής κατά το χρόνο σχεδίασης. Η εξερεύνηση προϋποθέτει την ανάλυση της δομής της εφαρμογής με έναν συστηματικό τρόπο. Αυτό περιλαμβάνει την προσεκτική μελέτη των βρόχων (loops) και των διακλαδώσεων (branches) των συνθηκών (conditions) του πηγαίου κώδικα.

2. Ορισμός του επίπεδου (granularity level) λειτουργίας. Μια μονολιθική (monolithic) προσέγγιση με βάση το χειρότερο σενάριο, δεν είναι αποτελεσματική. Από την άλλη πλευρά, μια λεπτομερής προσέγγιση (fine grain) η οποία χωρίζει τη λειτουργικότητα σε πάρα πολλές υποπεριπτώσεις προσθέτει υπερβολικά μεγάλο κόστος ανίχνευσης και εναλλαγής στην διαμόρφωσης του συστήματος. Μια ενδιάμεση λύση που θα παρέχει μία καλή λύση μεταξύ των δύο ακραίων προσεγγίσεων θα πρέπει να διερευνηθεί.

3. Ανίχνευση της κατάστασης λειτουργίας. Ένα άλλο ζήτημα είναι η έγκαιρη ανίχνευση της τρέχουσας κατάστασης λειτουργίας. Η εφαρμογή των μηχανισμών ανίχνευσης προϋποθέτει την παρακολούθηση των μεταβλητών του πηγαίου κώδικα, που καθορίζουν την εκτέλεση της εφαρμογής. Η πραγματοποίηση ανίχνευσης είναι ένα πρόσθετο κόστος για το σύστημα και έτσι είναι απαραίτητο να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα ακόμη και αν η εφαρμογή διαθέτει πολλές μεταβλητές. Ευρηματικοί τρόποι πρέπει να αναζητηθούν, που θα διατηρούν το κόστος ανίχνευση σε λογικά επίπεδα.

4. Υλοποίηση των μηχανισμών μεταγωγής (switching). Οι μηχανισμοί μεταγωγής (switching) είναι μηχανισμοί αντίδρασης, που εφαρμόζουν τις κατάλληλες διαμορφώσεις στο σύστημα αξιοποιώντας τις πληροφορίες που προέρχονται από τον σχεδιαστικό χρόνο. Η υλοποίηση της μεταγωγής προσθέτει κόστος στο σύστημα. Για παράδειγμα, μια δυναμική διαχείριση της συχνότητας (DFS) επεξεργασίας εξοικονομεί ενέργεια αλλά προσθέτει κόστος διαμόρφωσης (tuning cost) σε κάθε μεταβολή της συχνότητας. Ο συμβιβασμός μεταξύ του κόστους διαμόρφωσης και εξοικονόμησης πόρων είναι ένα κρίσιμο ζήτημα σχεδιασμού.

5. Πρόβλεψη φόρτου εργασίας (workload prediction). Η λειτουργικότητα της εφαρμογής δεν ελέγχεται μόνο εσωτερικά από το σύστημα, αλλά επίσης καθορίζεται από εξωτερικά συμβάντα (event driven situations). Τέτοιες καταστάσεις μπορεί να είναι η ενεργοποίηση μίας σύνδεση μεταξύ δύο ασύρματων πλατφορμών, ή η εγκατάσταση πολλαπλών ασύρματων γραμμών. Λόγω αυτών των καταστάσεων τα συστήματα βιώνουν συχνά παροδικές υπερφορτώσεις. Η πρόβλεψη των υπερφορτίσεων είναι επιθυμητή, αλλά εξαιρετικά σύνθετη διαδικασία με χαοτικά και μη-ντετερμινιστικά χαρακτηριστικά.

1.4 Προτεινόμενη Λύση

Στο πλαίσιο αυτής της διατριβής, παρουσιάζουμε μια γενική μεθοδολογία, η οποία μπορεί να αντιμετωπίσει την πολυπλοκότητα των προκλήσεων σχεδιασμού που αναφέρονται προηγουμένως. Η μεθοδολογία που προτείνουμε βασίζεται στην ανάλυση σεναρίων βάση των οποίων ιεραρχούνται οι καταστάσεις λειτουργίας από άποψη κόστους. Η εκμετάλλευση αυτής της ιεράρχησης οδηγεί στην αποτελεσματική ρύθμιση του συστήματος. Η εφαρμογή της πρότασης μας είναι μια ενδιάμεση λύση ανάμεσα σε μια μονολιθική (monolithic) και μία fine grain προσέγγιση σχεδιασμού παρέχοντας ευελιξία στην αξιοποίηση των πόρων.

- Μια μονολιθική προσέγγιση (monolithic approach) δεν εξετάζει εσωτερικά την εφαρμογή θεωρώντας την ως ενιαία οντότητα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εξαλείφει το κόστος της διαμόρφωσης, αλλά να οδηγεί σε υπερεκτίμηση των απαιτήσεων σε πόρους.

- Μια λεπτομερής προσέγγιση (fine grain approach) λαμβάνει υπόψη κάθε εσωτερική λεπτομέρεια της εφαρμογής, το οποίο οδηγεί σε αποτελεσματική εκτίμηση των απαιτούμενων πόρων, αλλά προκαλεί μια εκτεταμένη αύξηση του κόστους διαμόρφωσης.

Η πρότασή μας είναι μια ενδιάμεση προσέγγιση (coarse grain approach) η οποία στοχεύει σε μια καλή εξισορρόπηση μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, η μεθοδολογία μας ομαδοποιεί τις επιμέρους καταστάσεις λειτουργίας σε αντιπροσωπευτικές καταστάσεις που ονομάζονται σενάρια συστήματος (system scenarios). Κάθε σενάριο είναι μια ομάδα καταστάσεων λειτουργίας, τα οποία εμφανίζουν ομοιότητες κόστους. Τα επιμέρους κόστη σε ένα σενάριο συστήματος είναι αρκετά κοντά ώστε να αντιπροσωπεύονται από ένα. Έτσι, οι πολλαπλές καταστάσεις λειτουργίας αντιστοιχούν σε έναν λογικό αριθμό σεναρίων συστήματος μειώνοντας την πολυπλοκότητα του χώρου σχεδίασης. Έτσι, όλη η εκτέλεση της εφαρμογής μπορεί να διαχωριστεί σε σενάρια συστήματος παρέχοντας το κατάλληλο για την εφαρμογή επίπεδο (granularity) διαχείρισης για έναν ευέλικτο διαχειριστή πόρων. Η Εικόνα 3 συνοψίζει την μεθοδολογία σεναρίων σε σχέση με τις άλλες δύο προσεγγίσεις. Ένας δυναμικός διαχειριστής πόρων κάνει χρήση προτύπων (pattern) εκτέλεσης για την αποτελεσματική κατανομή των διαθέσιμων πόρων. Ο στόχος είναι να πετύχουμε την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των πόρων αποφεύγοντας κενούς χρόνους (idle time) λειτουργίας και με στόχο τα βέλτιστα αποτελέσματα απόδοσης. Σε μια διαδικασία σχεδιασμού με βάση τη χειρότερη περίπτωση, υπάρχει ένα σταθερό πρότυπο (pattern) εκτέλεσης για όλες τις περιπτώσεις. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 4 (α), έχουμε τρία tasks με ένα πρότυπο εκτέλεσης για όλα τα tasks. Αυτό αντιστοιχεί στο χρόνο εκτέλεσης του task3 και αντιπροσωπεύει την χειρότερη περίπτωση. Σε μια προσέγγιση που βασίζεται σε σενάρια συστήματος, τα πρότυπα εκτέλεσης είναι τα αποτελέσματα ομαδοποίηση των μεμονωμένων εκτελέσεων που εμφανίζουν ομοιότητες. Έτσι, στην Εικόνα 4 (β), το Task1 και το TASK2, τα οποία διαφέρουν για δύο μόλις κύκλους εκτέλεσης, είναι ομαδοποιημένα σε ένα πρότυπο εκτέλεσης (σενάριο). Σε μία fine grain προσέγγιση, βλέπε Εικόνα 4 (c) κάθε περίπτωση αντιστοιχεί σε ένα διαφορετικό πρότυπο εκτέλεσης. Αν συγκρίνουμε τις τρεις προσεγγίσεις βλέπουμε ότι από άποψη απόδοσης και αξιοποίησης πόρων η τρίτη προσέγγιση Εικόνα 5 (γ) είναι η βέλτιστη (χρόνος εκτέλεσης: 18 κύκλους, χρόνου αδράνειας: 0 κύκλοι), αλλά επιπλέον απαιτεί τρεις διαφορετικές διαμορφώσεις συστήματος. Από την άλλη πλευρά, η προσέγγιση σχεδιασμού με βάση τη χειρότερη περίπτωση Εικόνα 5 (α) απαιτεί μόνο μια διαμόρφωση συστήματος, αλλά έχει χαμηλά αποτελέσματα απόδοσης (χρόνος εκτέλεσης: 24 κύκλους, χρόνος αδράνειας: 6 κύκλοι). Ο σχεδιασμός βάση των σεναρίων συστήματος, βλέπε Εικόνα 5 (β), έχει ενδιάμεσα αποτελέσματα, όπου απαιτούνται δύο διαμορφώσεις συστήματος (μια λιγότερη από την πρώτη περίπτωση και ένα επιπλέον από τη δεύτερη περίπτωση) και χαρακτηρίζεται από πολύ καλά χαρακτηριστικά απόδοσης (χρόνος εκτέλεσης: 20 κύκλους, χρόνος αδράνειας: 2 κύκλοι). Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, θα ασχολούνται με αυτό το είδος σχεδιασμού καθώς και με τις προκλήσεις που ακολουθούν την εφαρμογή του. Ακριβέστερα, η μεθοδολογία σεναρίων συστήματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά βήματα όπως αυτά προκύπτουν από την μελέτη [16] :

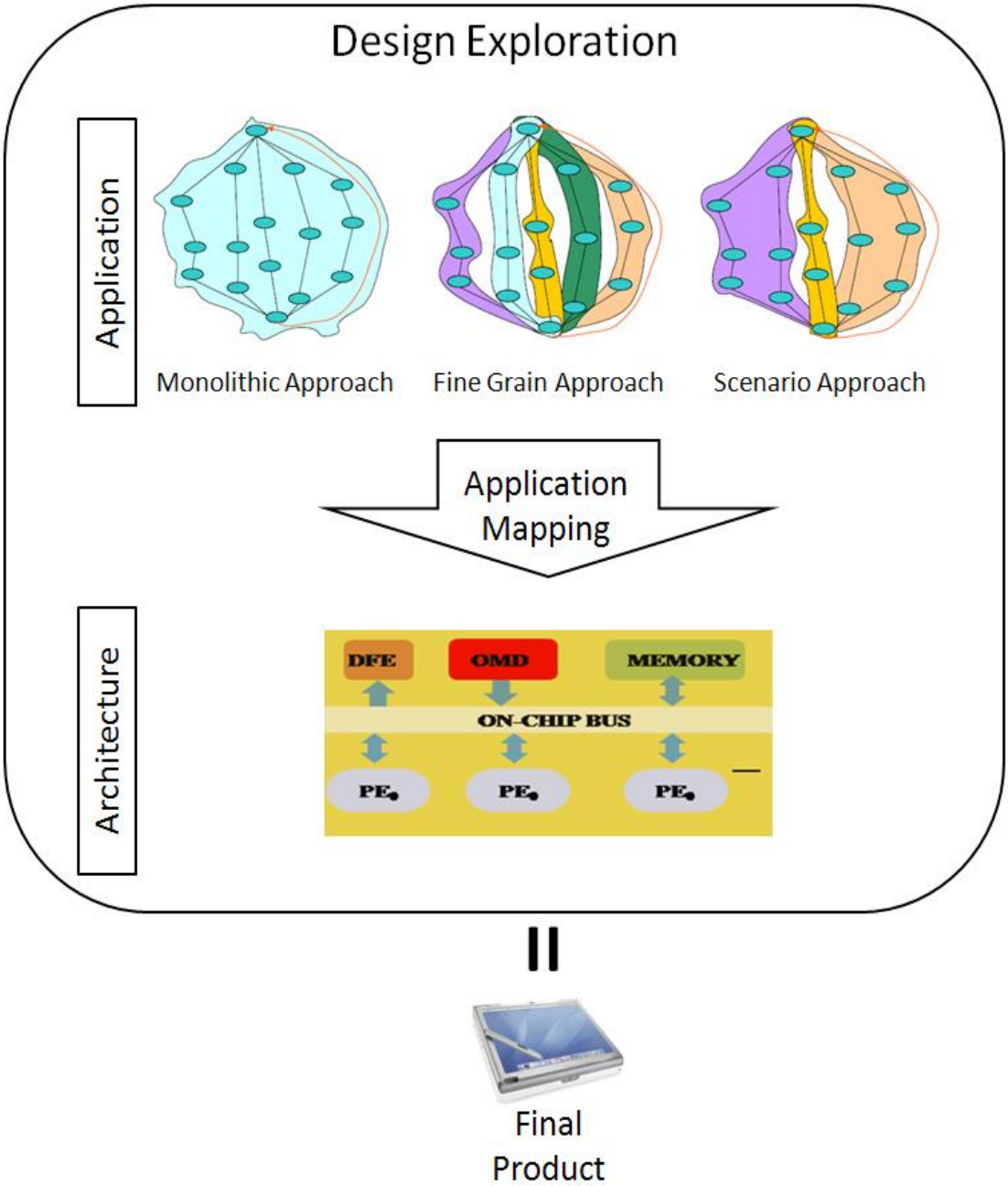


Figure 3. Σχεδιαστικές Προσεγγίσεις

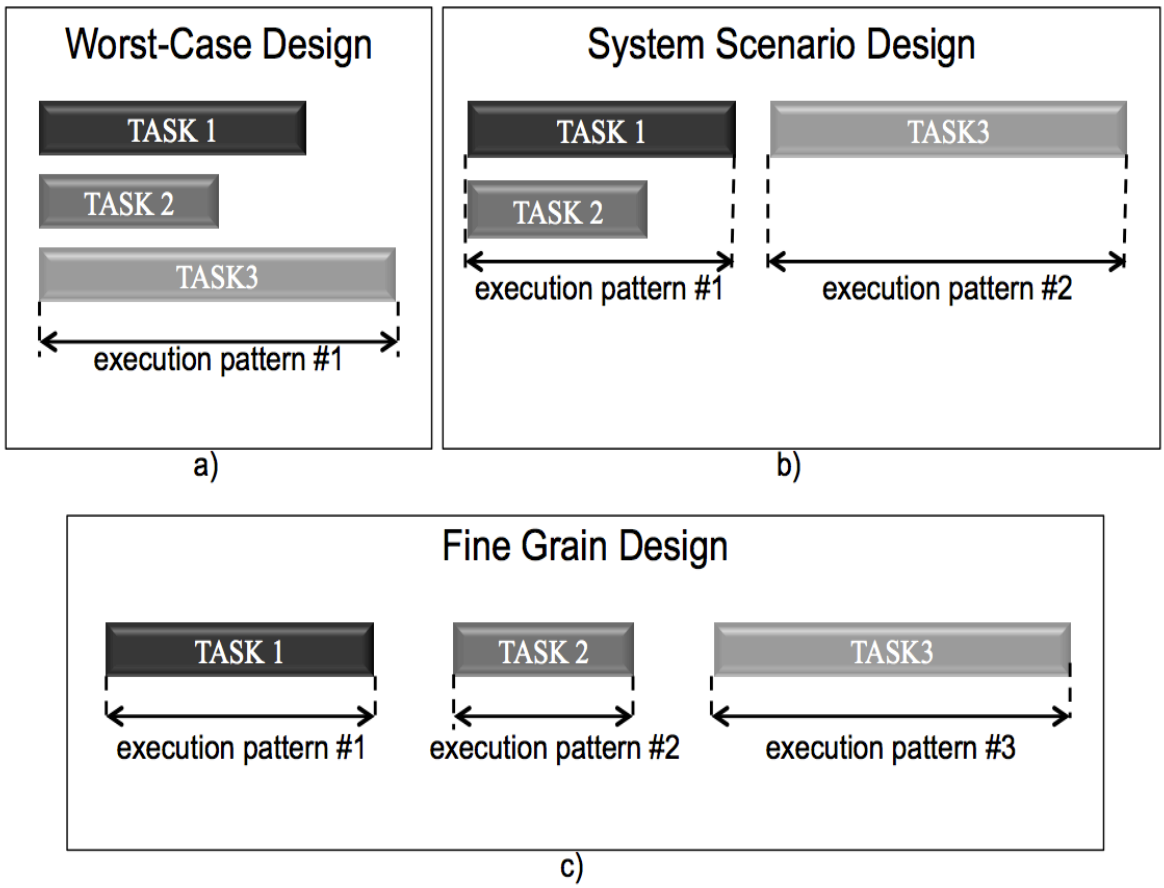


Figure 4. Πρότυπα Εκτέλεσης Για Διαφορετικές Σχεδιαστικές προσεγγίσεις

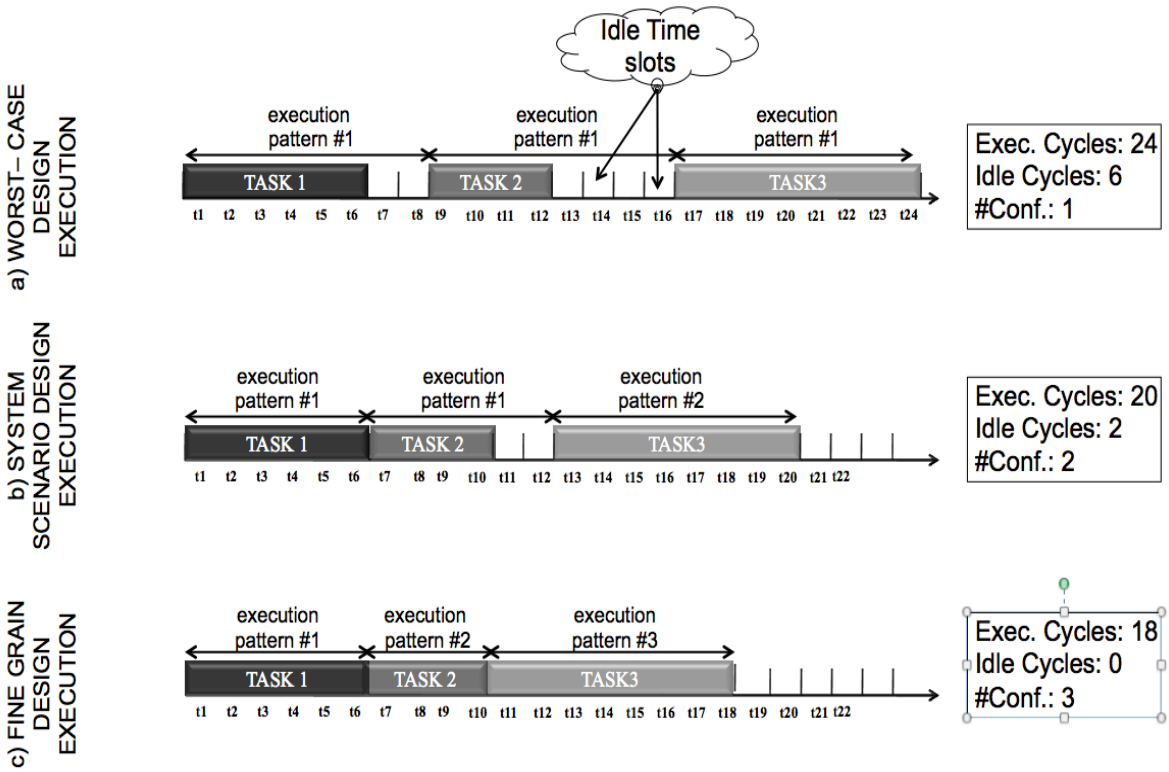


Figure 5. Εκτελέσεις Για Διαφορετικές Σχεδιαστικές προσεγγίσεις

1. **Αναγνώριση.** Το πρώτο βήμα είναι να εντοπιστούν όλες οι πιθανές καταστάσεις της εφαρμογής. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει να προσδιοριστούν και να χαρακτηριστούν όλες οι μεταβλητές συστήματος. Ως μεταβλητή συστήματος, μπορούμε να θεωρήσουμε κάθε μεταβλητή που επηρεάζει την κατάσταση του συστήματος από λειτουργικής άποψης ή από άποψη υλοποίησης. Η μεθοδολογία επικεντρώνεται στις μεταβλητές με τις σημαντικότερες επιπτώσεις. Για να μειωθεί ο σχεδιαστικός χώρος ακόμη περισσότερο, διερευνώνται οι εξαρτήσεις μεταξύ των μεταβλητών. Η διαδικασία αυτή θα εξάγει τις πιο σημαντικές παραμέτρους, που καθορίζουν την λειτουργία του συστήματος. Γνωρίζοντας αυτές τις παραμέτρους κατά το χρόνο σχεδίασης, μπορούμε να ορίσουμε τον σχεδιαστικό χώρο με όλες τις πιθανές καταστάσεις της εφαρμογής κατά το χρόνο εκτέλεσης.

2. **Χαρακτηρισμός.** Το επόμενο βήμα είναι ο χαρακτηρισμός των καταστάσεων της εφαρμογής. Η διαδικασία αυτή οδηγεί σε μία επιφάνεια Pareto των πιθανών σημείων εκμετάλλευσης στο πολυδιάστατο χώρο εξερεύνησης. Κάθε κατάσταση μπορεί να χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό παραγόντων κόστους που λαμβάνεται από ένα profiling tool σε μια πλατφόρμα ή με τη χρήση υψηλού επιπέδου κοστολογητές. Κάθε παράγοντας κόστους προσθέτει μια επιπλέον διάσταση στο συνολικό χαρακτηρισμό. Κάθε χαρτογράφηση της εφαρμογής σε συνδυασμό με μία αντίστοιχη διαμόρφωση του συστήματος αντιπροσωπεύουν ένα δυνητικά διαφορετικό συμβιβασμό στον πολυδιάστατο χώρο κόστους. Ένα τέτοιο σημείο καλείται ως ένα σημείο σχεδιασμού. Οι Pareto καμπύλες επιτρέπουν να διακρίνονται τα βέλτιστα από τα μη-βέλτιστα σημεία στο N-διάστατου χώρο κόστους. Κάθε κατάσταση εφαρμογής χαρακτηρίζεται από μία βέλτιστη καμπύλη Pareto.

3. **Ομαδοποίηση (Clustering).** Η ομαδοποίηση είναι το πιο σημαντικό βήμα της μεθοδολογίας, διότι καθορίζει την ομαδοποίηση των μεμονωμένων καταστάσεων λειτουργίας του συστήματος σε σενάρια. Μια αποδοτική ομαδοποίηση είναι το κλειδί για την επιτυχία των στόχων της μεθοδολογίας. Αυτό το βήμα λαμβάνει υπόψη την διακύμανση από τα κόστη των διαφορετικών καταστάσεων, τα οποία θα περιληφθούν στο ίδιο σενάριο συστήματος. Επιπλέον αυτό το βήμα θα καθορίσει την υπερεκτίμηση των πόρων, η οποία θα εισαχθεί στο χαρακτηρισμό των σεναρίων του συστήματος ώστε να υπάρχει εγγύηση ότι οι χρονικές προθεσμίες θα ικανοποιηθούν. Αυτό προσθέτει κόστος που ορίζεται ως κόστος ομαδοποίησης (Clustering Overhead) και έχει επιπτώσεις στην υλοποίηση του χρονοπρογραμματιστή πόρων.

4. **Ανίχνευση (Detection).** Αυτό το βήμα περιλαμβάνει ένα μηχανισμό, ο οποίος εντοπίζει τα διάφορα σενάρια του συστήματος κατά το χρόνο εκτέλεσης. Η ανίχνευση το σεναρίων μπορεί να επιτευχθεί με την παρακολούθηση των μεταβολών στις μεταβλητές της εφαρμογής. Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου ανιχνεύσεως επηρεάζει ανάλογα και το κόστος υλοποίησης του. Έτσι ευρηματικοί

τρόποι που θα διατηρήσουν το κόστος ανίχνευσης σε λογικά επίπεδα, θα πρέπει να διερευνηθούν.

5. **Μεταγωγή (Switching).** Η μεταγωγή είναι ένας μηχανισμός λήψης απόφασης για το αν μια διαμόρφωση του συστήματος θα πρέπει εφαρμοστεί ή όχι. Το κριτήριο είναι η σύγκριση του κέρδους σε πόρους, από μία αλλαγή στην διαμόρφωση του συστήματος, σε σχέση με το προστιθέμενο κόστος διαμόρφωση. Οι συχνές εναλλαγές προσθέτουν σημαντικά κόστη στο σύστημα. Έτσι, μια αποτελεσματική υλοποίηση, όπου θα αποφασίζει σχετικά με τις αντιδράσεις του συστήματος, είναι απαραίτητη.

Εκτός από τις βασικές αρχές μεθοδολογίας, η διατριβή αυτή παρουσιάζει μελέτες εργασίες και εργαλεία προσομοίωσης που υλοποιούν τα βήματα της μεθοδολογία. Ο στόχος είναι να γίνει αξιοποίηση της ιεράρχησης που παρέχουν τα σενάρια συστήματος μειώνοντας την πολυπλοκότητα σχεδιασμού. Το κύριο πεδίο εφαρμογής είναι να καθοριστεί ένας χώρος σχεδίασης των βέλτιστων σημείων διαμόρφωσης της πλατφόρμας. Ο στόχος είναι η αποτελεσματική αξιοποίηση των πόρων διατηρώντας το κόστος αναδιαμόρφωση σε λογικά επίπεδα. Για τις ανάγκες σχεδιασμού, αναπτύχθηκαν εργαλεία αυτόματης προσομοίωσης που παρέχουν ένα αξιόπιστο χαρακτηρισμό κάθε πιθανής λειτουργίας μίας ασύρματη πλατφόρμας. Εκτός από την εξερεύνηση του χώρου σχεδιασμού, αυτή η διατριβή καταπιάνεται με τα δυναμικά χαρακτηριστικά των ασύρματων συστημάτων. Η πρόθεση είναι να μελετηθεί η τυχαιότητα καταστάσεων, οι οποίες προκαλούν διακύμανση στο φόρτο εργασίας του συστήματος. Η θεωρητική βάση προέρχεται από το χώρο της Θεωρίας του Χάους και περιλαμβάνει ανάλυση χρονοσειρών και προχωρημένα μαθηματικά εργαλεία, τα οποία αναλύουν τις αλλαγές στις τιμές των δυναμικών μεγεθών και προβλέπουν την εξέλιξη τους στο μέλλον. Πρόκειται για ένα συστηματικό τρόπο διάκρισης αν ένα γεγονός εμφανίζει περιοδική , χαοτική-ντετερμινιστική ή μη-ντετερμινιστική συμπεριφορά. Σε μια μελέτη εργασίας, μελετάμε την διακύμανση του φορτίου μιας πραγματικής ασύρματης εφαρμογής και καταλήγουμε σε συμπεράσματα πρόβλεψης.

1.5 Περιεχόμενα Διατριβής

Η δομή της υπόλοιπης διατριβής περιλαμβάνει πέντε κεφάλαια, τα οποία περιγράφονται εν συντομία παρακάτω:

Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογία Σεναρίων Συστήματος

Αυτό το κεφάλαιο εισάγει την έννοια των σεναρίων συστήματος σε ασύρματες πλατφόρμες επικοινωνίας. Εξετάζουμε τα ειδικά χαρακτηριστικά των ασύρματων πλατφορμών επικεντρώνοντας κυρίως στην επεξεργασία του σήματος βασικής ζώνης. Η συνεισφορά μας δεν περιορίζεται στην εφαρμογή της θεωρίας σεναρίων αλλά προτείνουμε νέες επεκτάσεις της μεθοδολογίας για την ομαδοποίηση των καταστάσεων του συστήματος σε σενάρια καθώς και την σε πραγματικό χρόνο ανίχνευση τους. Πιο συγκεκριμένα, μελετάμε τον κύριο συμβιβασμό μεταξύ του κόστους ομαδοποίησης, το οποίο συσχετίζεται με το πόσο αντιπροσωπευτικά είναι τα σενάρια, σε σχέση με το κόστος ανίχνευσης, προτείνοντας μετασχηματισμούς στην εφαρμογή του αλγορίθμου ανίχνευσης και μεταγωγής.

Κεφάλαιο 3: Περιβάλλον Προσομοίωσης: Διερεύνηση SDR Παραμέτρων

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε ένα νέο περιβάλλον προσομοίωσης, το οποίο συνδυάζει ένα μοντέλο εναέριου καναλιού, καθώς και επιμέρους μοντέλα τερματικών SDR, τα οποία υλοποιούνται, βασισμένα σε μία Network-on-Chip αρχιτεκτονική. Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να χαρακτηρίσει σε μία cycle accurate βάση τους τρόπους λειτουργίας μιας πλατφόρμας SDR σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού. Ο στόχος είναι να καθοριστεί ο χώρος σχεδιασμού μιας πλατφόρμας SDR, χρησιμοποιώντας αυτόματα εργαλεία προσομοίωσης. Με αυτόν τον τρόπο, προσπαθούμε να διερευνήσουμε τους πιθανούς συμβιβασμούς μεταξύ των παραμέτρων της πλατφόρμα παρέχοντας συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά ενός τερματικού κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Κεφάλαιο 4: Ασύρματες Πλατφόρμες –Σενάρια Συστήματος Σε Μελέτες Εργασίας

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε δύο μελέτες εργασίας, οι οποίες εφαρμόζουν τη μεθοδολογία σεναρίων σε ασύρματες πλατφόρμες. Στην πρώτη μελέτη, ο στόχος είναι η μείωση των σεναρίων συστήματος που πρέπει να ληφθούν υπόψη από ένα διαχείριση μίας SDR πλατφόρμας για να επιτευχθεί αποτελεσματική χρήση των πόρων της. Αυτό που επιδιώκουμε είναι να επιτύχουμε ένα καλό συμβιβασμό μεταξύ της ζητούμενης ευελιξίας και της υπερεκτίμησης των στοιχείων κόστους. Έτσι επιτυγχάνουμε μια μείωση των πιθανών καταστάσεων συστήματος από 54 σε 7 σενάρια προκαλώντας μία αύξηση στην χρήση των πόρων περίπου 10%, μειώνοντας ταυτόχρονα τις μεταγωγές διαμόρφωσης της πλατφόρμας κατά 90% και επιτυγχάνοντας μια μείωση στην κατανάλωση ενέργειας κατά 45-73% (με βάση τα deadlines Στην δεύτερη μελέτη, επικεντρωνόμαστε στην αποτελεσματική διαχείριση της ισχύος σήματος κεραίας κατά τη διάρκεια μιας WLAN εκπομπής μειώνοντας την συνολική κατανάλωσης ενέργειας 50-94%.

Κεφάλαιο 5:Δυναμική Ανάλυση Φόρτου Επεξεργασίας Βάση Της Θεωρίας Του Χάους

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε μια ανάλυση του φόρτου επεξεργασίας μίας ασύρματης εφαρμογής. Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να παρουσιάσει ένα συστηματικό τρόπο εντοπισμού και πρόβλεψης παροδικών υπερφορτώσεων. Για να το επιτύχουμε αυτό χρησιμοποιούμε μια μεθοδολογία ανάλυσης φόρτου εργασίας (workload) που συνδυάζει προηγμένα μαθηματικά εργαλεία από το πεδίο της Θεωρίας του Χάους, επιτρέποντας το χειρισμό δυναμικών ροών δεδομένων με πολύπλοκη συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα, ο στόχος της προσέγγισής μας είναι να εξαχθούν και να προβλεφθούν τα "κρίσιμα σημεία" που αντιπροσωπεύουν τις ασταθείς καταστάσεις ενός ασύρματου συστήματος εφαρμόζοντας αποτελεσματικές πολιτικές προγραμματισμού. Για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της προσέγγισής εφαρμόσαμε μια τεχνική δυναμικής κλιμάκωσης συχνότητας (DFS) που αξιοποιεί τα συμπεράσματα της ανάλυσής μας, επιτυγχάνοντας αξιοσημείωτη βελτίωση στην κατανάλωσης ενέργειας, που κυμαίνονται από 17,5% έως 37,8% ανάλογα με τους χρονικούς περιορισμούς της εφαρμογής.

Κεφάλαιο 6: Επίλογος

Αυτό το κεφάλαιο δίνει μια περίληψη της διατριβής παρουσιάζοντας τα κύρια στοιχεία συνεισφοράς και επιπλέον παρουσιάζοντας τις μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις

2. Μεθοδολογία Σεναρίων Συστήματος

Ο σχεδιασμός με βάση τα σενάρια έχει χρησιμοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα σε διαφορετικές περιοχές ανάπτυξης συστημάτων [15] και ιδίως κατά την ανάπτυξη του τομέα των ενσωματωμένων συστημάτων [16]. Τα σενάρια περιγράφουν, σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού, την μελλοντική λειτουργικότητα του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της αλληλεπίδρασης με το χρήστη. Τα σενάρια αντιπροσωπεύουν περιγραφές των προδιαγραφών χρήσης. Στην περίπτωση του αντικειμενοστραφούς λογισμικού (oriented software engineering) μια ενοποιημένη γλώσσα μοντελοποίησης (UML) **Error! Reference source not found.** απαριθμεί από λειτουργικής άποψης, όλες τις πιθανές ενέργειες του χρήστη και τις αντιδράσεις του συστήματος που απαιτούνται για την επίτευξη μίας λειτουργίας-χρήσης του συστήματος. Στη μελέτη μας, έχουμε επικεντρωθεί σε ένα διαφορετικό είδος σεναρίων, τα λεγόμενα σενάρια συστήματος **Error! Reference source not found.**, τα οποία χαρακτηρίζουν το σύστημα από τη σκοπιά των πόρων.

Η μεθοδολογία των σεναρίων συστήματος έχει περιγραφεί με ένα πλήρως συστηματικό τρόπο στο [18]. Στόχος είναι να εντοπιστούν δυναμικές συμπεριφορές εξαρτώμενες από δεδομένα μέσα σε ένα νήμα ώστε να επιτευχθεί καλύτερος προγραμματισμός μίας πολυνηματικής εφαρμογής σε μια ετερογενή πλατφόρμα πολλαπλών επεξεργαστών. Συνήθως, οι περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές είναι πραγματικού χρόνου και πρέπει να υποστηρίζουν συγκεκριμένες αποδόσεις, οι οποίες επιβάλλουν περιορισμούς στο χρόνο εκτέλεσης. Η εργασία [19] παρουσιάζει μια μεθοδολογία σχεδιασμού που παρέχει ένα συστηματικό τρόπο για την ανίχνευση και την εκμετάλλευση των σεναρίων συστήματος για streaming εφαρμογές. Ως σενάριο ορίζεται η συμπεριφορά συστήματος για ένα συγκεκριμένο τύπο εισόδου, δηλαδή μια ομάδα από μονοπάτια εκτέλεσης (execution paths) για τη συγκεκριμένη ομάδα δεδομένων εισόδου. Η έννοια σενάριο συστήματος επίσης περιγράφεται στο [20], όπου τα tasks χρησιμοποιούν μια ιεραρχική μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων (FSM) με ένα σύγχρονο μοντέλο ροής δεδομένων (SDF). Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι οι εφαρμογές θα πρέπει να γράφονται με τη χρήση ενός περιοριστικού (limited) μοντέλου, το οποίο είναι μια χρονοβόρα και επιρρεπής σε λάθη λειτουργία.

Μία από τις κύριες εφαρμογές της μεθοδολογίας σεναρίων συστήματος είναι η ανάπτυξη τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας στο σχεδιασμό ενσωματωμένων συστημάτων. Σε αυτές περιλαμβάνονται τεχνικές προσαρμογής της συχνότητας επεξεργασίας του συστήματος βάση του φόρτου εργασίας προσθέτοντας κάποιο κόστος προσαρμογής. Μία intra-task τεχνική προσαρμογής τάσης, η οποία αλλάζει την τάση τροφοδοσίας στην βάση διάσπασης ενός task σε slots προτάθηκε στο [20]. Μια παρόμοια τεχνική παρουσιάζεται στο [21] όπου οι συγγραφείς προτείνουν έξυπνους τρόπους για την επιλογή των σημείων κλιμάκωσης της τάσης. Ωστόσο, η πρώτη DVS προσέγγιση για συστήματα πραγματικού χρόνου παρουσιάστηκε στο [22]. Η τελευταία είναι μια «proactive» προσέγγιση που προσδιορίζει τα κενά χρόνου (time slacks) εκ των προτέρων χρησιμοποιώντας δεδομένα και πληροφορίες της ροής ελέγχου του προγράμματος. Στα μειονεκτήματά της είναι ότι η data-flow ανάλυση δεν μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα, καθώς το κόστος υλοποίησης σε πραγματικό χρόνο δεν μπορεί να ελεγχθεί και δεν υπάρχει εύκολος τρόπος να ανιχνευθεί αν αυτή η επιβάρυνση οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Το [23] υπερνικά όλους αυτούς τους περιορισμούς με τη χρήση σεναρίων. Οι συγγραφείς προτείνουν έναν τρόπο για να ελέγξουν την επιβάρυνση. Εντοπίζουν αυτόματα τις παραμέτρους με τη μεγαλύτερη επιρροή στις χειρότερες περιπτώσεις εκτέλεσης (WCEC), και τις χρησιμοποιούν για να καθορίσουν τα σενάρια. Με βάση τον ίδιο DVS-aware αλγόριθμο προγραμματισμού [24],

και με τη χρήση πραγματικών πολυμεσικών εφαρμογών επιτυγχάνουν μία μείωση στην κατανάλωση ενέργειας μεταξύ 14% και 52%, ενώ στην μελέτη [22] αναφέρονται μειώσεις μεταξύ 4% και 40%. Όμως αυτές οι προσεγγίσεις δεν είναι πολύ ισχυρές και δεν είναι κατάλληλες για soft deadline συστήματα, καθώς η διαφορά μεταξύ της εκτιμώμενης WCEC και του πραγματικό αριθμού των κύκλων εκτέλεσης μπορεί να είναι σημαντική λόγω της απρόβλεπτης συμπεριφοράς του υλικού και τους περιορισμούς της WCEC ανάλυσης. Για να ξεπεραστεί αυτό το ζήτημα, οι συντάκτες της [25] χρησιμοποιούν μια προσέγγιση με βάση το καθορισμό του προφίλ για την ανίχνευση και το χαρακτηρισμό των σεναρίων. Επιπλέον, εισάγουν σημεία πρόβλεψης (predictors) στον κώδικα της εφαρμογής για να προβλέψουν τα σενάρια κατά το χρόνο εκτέλεσης.

Η μεθοδολογία των σεναρίων συστήματος είναι ιδιαιτέρως επωφελής για πολυμεσικές εφαρμογές που εμφανίζουν δυναμική συμπεριφορά με πολυδιάστατα κόστη. Η μελέτη [26] προτείνει ένα πλαίσιο διαχείρισης των πόρων του επεξεργαστή με βάση τα σενάρια, επιτυγχάνοντας παράλληλα QoS σε σύγχρονα multi-core συστήματα. Επιπλέον, κάθε υψηλού επιπέδου μεθοδολογία σχεδιασμού χαμηλής κατανάλωσης περιλαμβάνει ένα Global Loop Transformation (GLT) στάδιο. Αυτό το στάδιο βελτιώνει τις δυνατότητες είτε σε επίπεδο παραλληλοποίησης εντολών ή δεδομένων, ή βελτιώνει την προσπέλαση των δεδομένων έτσι ώστε να μπορούν να αποθηκευτούν σε χαμηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας μνήμης, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χώρου και ενέργειας. Η [27] προτείνει μια τεχνική χαρτογράφησης και μεταγλώττισης που προσδιορίζει τα hot path(s) η οποία ονομάζεται λειτουργία επεξεργασίας πακέτων (PPF) και έχει ως σκοπό να μεγιστοποιήσει την απόδοση του συστήματος. Στο [28], οι συγγραφείς χρησιμοποιούν σενάρια παρέχοντας περισσότερη ελευθερία στα Global Loop Transformations. Σε σύγκριση με [27] ,η εργασία [28] εστιάζεται στο γράφημα ελέγχου ροής (CFG) των hot code paths. Επίσης, ο στόχος της επικεντρώνεται σε multimedia εφαρμογές ενώ αντίστοιχα στην [27] σε δικτυακές. Στο [28], οι συγγραφείς αναλύουν τους βρόχους με διαφορετικό trip count για να σχεδιάσουν μια δυναμική πρόβλεψη βρόχου. Στο [29], οι συγγραφείς προτείνουν heuristics για να απλοποιήσουν την πολυπλοκότητα των διαγραμμάτων ελέγχου ροής (CFGs). Στο [30], ο αριθμός trip count profiling χρησιμοποιείται για να επιτρέπει προηγμένες βελτιστοποιήσεις βρόχου σε δυναμικούς μεταφραστές. Στο [31], οι συγγραφείς προτείνουν την χρησιμοποίηση του trip count profiling βρόχων για να βελτιώσουν την είσοδο δημιουργίας των σεναρίων.

Στα πλαίσια αυτής της διατριβής επικεντρωνόμαστε στις ασύρματες streaming εφαρμογές με δυναμική συμπεριφορά. Τέτοιες εφαρμογές αποτελούνται από ένα σύνολο διεργασιών με εξαρτήσεις. Οι εξαρτήσεις μεταξύ των διεργασιών μπορεί να είναι κυκλικές, πράγμα που δείχνει ότι διαφορετικές κλήσεις των διεργασιών εξαρτώνται από τα αποτελέσματα των άλλων [32]. Τα σύγχρονα Dataflow (SDF) μοντέλα (γνωστά ως Weighted Marked Graphs σε Petri Net theory) επιτρέπουν κατά την ανάλυση σε χρόνο σχεδιασμού διορθώσεων των ιδιοτήτων επιδόσεων, [33]. Ωστόσο, η SDF στερείται υποστήριξης για έκφραση οποιασδήποτε μορφής δυναμισμού. Ο δυναμισμός προέρχεται από τις διαφορετικές τρέχουσες καταστάσεις στις οποίες λειτουργεί η εφαρμογή με διαφορετικές απαιτήσεις πόρων σε σχέση με τις διαμορφώσεις λειτουργίας. Το Cyclo-Static Dataflow (CSDF) [34] είναι μια επέκταση του SDF που επιτρέπει την έκφραση σε κυκλικά μοτίβα στους χρόνους εκτέλεσης των διαδικασιών σε σχέση με την ποσότητα των δεδομένων που διαβιβάζονται μεταξύ των διεργασιών. Στην περίπτωση που είναι διαθέσιμες πληροφορίες πιθανοτήτων ένα Scenario-Aware Dataflow (SADF) μοντέλο [35] μπορεί χρησιμοποιηθεί

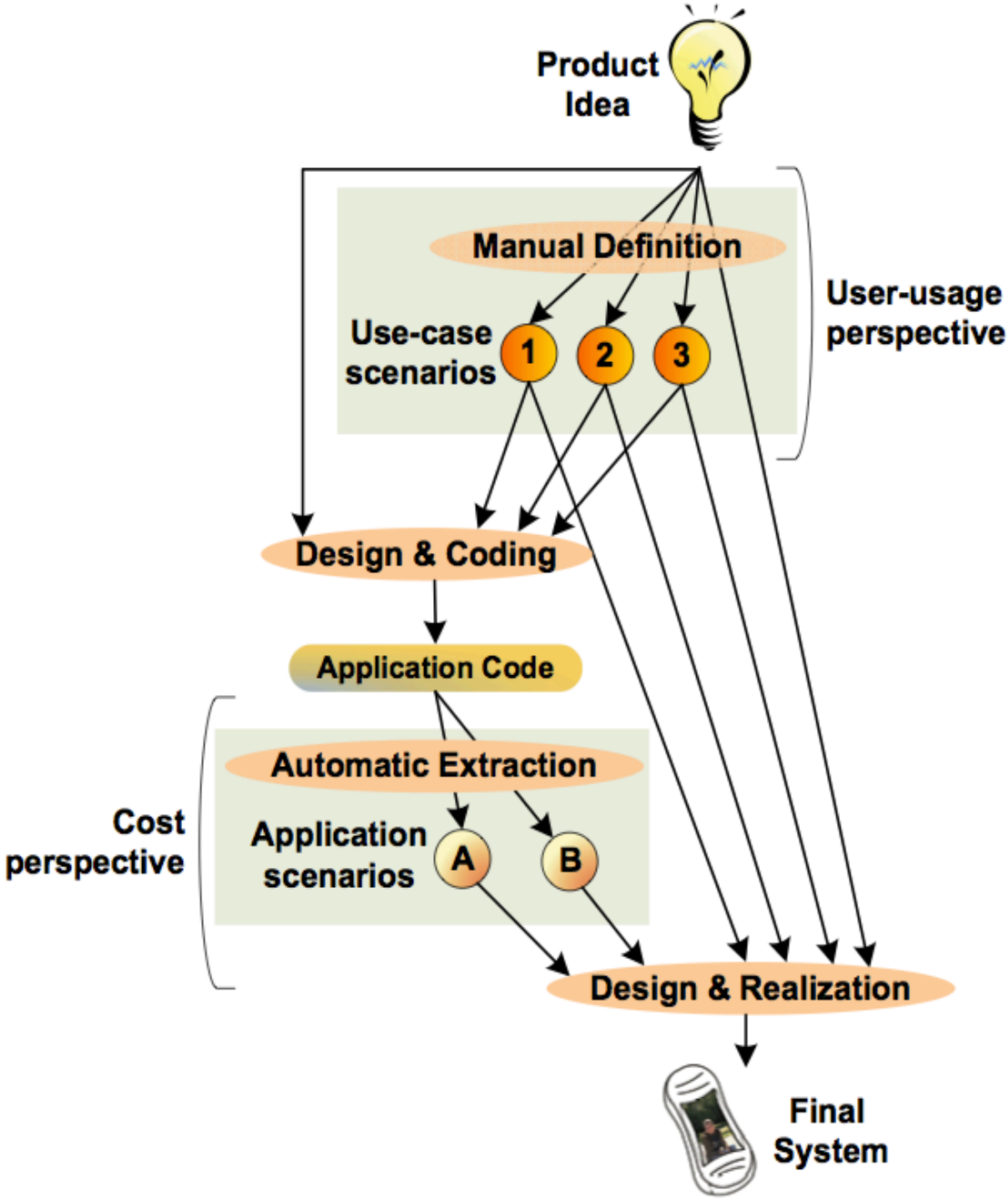
Σε αυτή την εργασία, θα επικεντρωθούμε στις προκλήσεις των σεναρίων συστήματος προτείνοντας λύσεις ειδικά για δυναμικά συστήματα επικοινωνιών. Εξετάσουμε τα ειδικά χαρακτηριστικά των SDR πλατφόρμων με επίκεντρο την επεξεργασία του σήματος βασικής

ζώνης. Το έργο μας δεν περιορίζεται μόνο στην εφαρμογή των σεναρίων. Προτείνουμε νέες επεκτάσεις της μεθοδολογίας όσο αναφορά τον προσδιορισμό και την ανίχνευση των σεναρίων. Πιο συγκεκριμένα, μελετάμε τους κύριους συμβιβασμούς μεταξύ του overhead από την ομαδοποίησης των λειτουργικών καταστάσεων σε σενάρια, το οποίο συσχετίζεται με το πόσο αντιπροσωπευτικά είναι τα σενάρια, και του overhead ανίχνευσης, προτείνοντας μετασχηματισμούς στην εφαρμογή του αλγορίθμου ανίχνευσης και μεταγωγής.

2.1 Σενάρια Χρήσης & Σενάρια Συστήματος

Τα σενάρια προσδιορίζονται στη φάση του σχεδιασμού και μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: α) σενάρια χρήσης και β) σενάρια συστήματος [4]. Το πρώτο είδος σεναρίων ομαδοποιεί πιθανές ενέργειες των χρηστών και τις πιθανές αντιδράσεις του συστήματος. Οι ενέργειες του χρήστη παρουσιάζονται ως διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας σε επίπεδο συστήματος. Τα σενάρια χρήσης μπορεί να διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό όσον αφορά τις απαιτούμενες επιδόσεις. Τα σενάρια συστήματος ιεραρχούν από άποψη κόστους τις διαφορετικές λειτουργικές καταστάσεις του συστήματος για διαφορετικές διαμορφώσεις λειτουργίας. Πιο συγκεκριμένα, τα σενάρια συστήματος είναι ομάδες λειτουργικών καταστάσεων, οι οποίες εμφανίζουν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά κόστους. Για παράδειγμα, ένας χρήστης κάνει χρήση μιας ευρείας ποικιλίας δικτυακών υπηρεσιών, όπως web browsing, VoIP σύνδεση και επικοινωνία βίντεο, επίσης, μπορεί να ενεργοποιήσει συγκεκριμένες συνδέσεις επικοινωνίας, όπως Wi-Fi, WiMax, Bluetooth, κ.λπ. Όλη αυτή η δραστηριότητα αποτελεί μέρος των σεναρίων χρήσης. Από την άλλη πλευρά, η ισχύς του σήματος, η επιλογή διαμόρφωσης, η περιοχή χρήσης του φάσματος και όλα τα τεχνικά στοιχεία, τα οποία ορίζονται εσωτερικά από το σύστημα και είναι διαφανής προς τον χρήστη διαδικασίες και αποτελούν μέρος των σεναρίων συστήματος. Για να συνοψίσουμε, κάθε σενάριο χρήσης μπορεί να αντιστοιχεί σε ένα ή διαφορετικά σενάρια συστήματος χωρίς να αποκλείεται η πιθανότητα να επικαλύπτονται. Τα σενάρια συστήματος είναι το είδος των σεναρίων που θα μας απασχολήσει στην παρούσα διατριβή.

Η Εικόνα 6 παρουσιάζει τη γενική ροή μεθοδολογίας σεναρίων παρουσιάζοντας την ιεραρχική διαφοροποίηση μεταξύ των σεναρίων χρήσης και των σεναρίων συστήματος. Όλα ξεκινούν με την ιδέα προϊόντος, το οποίο περιγράφεται ως σενάρια χρήσης της επιθυμητής λειτουργικότητας της πλατφόρμας. Αυτό υλοποιείται με μία αφαιρετικού επιπέδου περιγραφή των χαρακτηριστικών του προϊόντος. Για παράδειγμα, σε μια ασύρματη συσκευή τα σενάρια χρήσης περιγράφουν το είδος των δικτύων (π.χ. δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, Wi-Fi, WiMax) και το είδος των εφαρμογών (π.χ. βίντεο συνεχούς ροής, audio streaming, πλοήγηση GPS) που η συσκευή θα πρέπει να υποστηρίξει. Η περιγραφή αυτή χρησιμοποιείται, σαν είσοδος στο επόμενο βήμα που καθορίσει ποιο μέρος της λειτουργικότητας θα υλοποιηθεί σε λογισμικό και ποιο σε υλικό. Στο βήμα αυτό, απαιτούνται διάφορα εργαλεία προσομοίωσης για το χαρακτηρισμό των τρόπων λειτουργίας που προκύπτουν από διαφορετικές προσεγγίσεις σχεδιασμού. Η ταξινόμηση αυτών των τρόπων λειτουργίας σε ένα πολυδιάστατο χώρο κόστους οδηγεί στον ορισμό των σεναρίων συστήματος. Η εξαγωγή των σεναρίων συστήματος σέβεται μία σειρά από κριτήρια σχετικά με την αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Η ροή ολοκληρώνεται με την κωδικοποίηση των σεναρίων συστήματος ώστε να είναι εύκολο να εντοπιστούν και να αξιοποιηθούν κατά το χρόνο λειτουργίας μετά την υλοποίηση του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 6. Ροή Μεθοδολογίας Σεναρίων [18]

2.2 Μεθοδολογία Σεναρίων Συστήματος

2.2.1 Εισαγωγή

Η μεθοδολογία σεναρίων συστήματος είναι μια προσέγγιση για την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας σχεδιασμού εφαρμογών με πολυδιάστατα κόστη και αυστηρούς περιορισμούς λειτουργίας. Οι κύριες προκλήσεις είναι: 1) η βελτιστοποίηση χαρτογράφηση της εφαρμογής πάνω στην πλατφόρμα και 2) η αποτελεσματική διαχείριση των πόρων του συστήματος. Τα βασικά σημεία της μεθοδολογία είναι: 1) ο διαχωρισμός των προβλημάτων σχεδιασμού σε ξεχωριστά βήματα κατά το χρόνο σχεδίασης και 2) η εφαρμογή μόνο των βέλτιστων λύσεων κατά το χρόνο εκτέλεσης. Πιο συγκεκριμένα, με την ιεράρχηση και την ομαδοποίηση των πιθανών λειτουργικών καταστάσεων συστήματος σε σενάρια, ένα διαχειριστής πραγματικού χρόνου μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αξιοποίηση των πόρων, τηρώντας όλους τους περιορισμούς απόδοσης, σε σύγκριση με μια συμβατική προσέγγιση με βάση τη χειρότερο σενάριο.

2.2.2 Θεμελιώδη Μεθοδολογίας

Η περιγραφή της μεθοδολογίας ξεκινάει με την εισαγωγή της έννοιας τρέχουσα κατάσταση πραγματικού χρόνου (Run-Time Situation-RTS). Ως RTS, ορίζουμε ένα κομμάτι του κώδικα της εφαρμογής με συγκεκριμένες και σταθερές διαστάσεις κόστους. Τα RTSs είναι οι βασικές μονάδες εκτέλεσης (execution) του συστήματος. Έτσι η όλη λειτουργία του συστήματος αποτελείται από μια ακολουθία από RTSs. Ο στόχος της μεθοδολογίας είναι να αναλύσει τα διαφορετικά RTSs κατά το χρόνο σχεδίασης και να προσδιορίσει μηχανισμούς για την αποτελεσματική ρύθμιση του συστήματος κατά το χρόνο εκτέλεσης (π.χ. αλλαγή της συχνότητας του επεξεργαστή ή την τάσης τροφοδοσίας) δεδομένου των χρονικών περιορισμών. Η μεθοδολογία αποτελείται από 5 επιμέρους βήματα, 1) αναγνώριση RTSs, 2) χαρακτηρισμό RTSs, 3) ομαδοποίηση RTSs σε σενάρια συστήματος, 4) ανίχνευση των σεναρίων, 5) εναλλαγή σεναρίων.

Ο προσδιορισμός του χώρου εξερεύνησης των RTSs μπορεί να είναι μια πολύ πολύπλοκη διαδικασία και να απαιτεί μια λεπτομερή περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος. Η διακύμανση της λειτουργικότητας του συστήματος πρέπει να εντοπίζεται και να εξετάζεται χωριστά. Ως μεταβλητή συστήματος, μπορούμε να υποθέσουμε κάθε παράμετρο που επηρεάζει την κατάσταση του συστήματος από άποψη λειτουργίας. Οι διαφοροποιήσεις στη λειτουργικότητα του συστήματος μπορεί να προέρχεται είτε εσωτερικά από την εφαρμογή ή εξωτερικά από το περιβάλλον. Έτσι, μπορούμε να διακρίνουμε δύο διαφορετικά είδη μεταβλητών, με βάση το κριτήριο αυτό, τις εσωτερικές μεταβλητές και τις εξωτερικές μεταβλητές. Οι εσωτερικές μεταβλητές είναι μέρος της υλοποίησης και αντιπροσωπεύουν τον έλεγχο της εφαρμογής και εξαρτώνται από τα δεδομένα εισόδου. Οι εξωτερικές μεταβλητές αντιπροσωπεύουν την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον. Για παράδειγμα σε μία ασύρματη συσκευή ο θόρυβος παρεμβολής είναι μια εξωτερική μεταβλητή, η οποία έχει αντίκτυπο στην επιλογή του κατάλληλου σχήματος διαμόρφωσης/κωδικοποίησης.

Οι μεταβλητές της εφαρμογής μπορεί να διακριθούν περαιτέρω σε δύο επιπλέον κατηγορίες. Σε μεταβλητές ελέγχου και δεδομένων. Οι μεταβλητές ελέγχου ορίζουν τις διαδρομές εκτέλεσης της εφαρμογής και πόσες φορές ένας βρόχος θα επαναληφθεί. Επηρεάζουν σημαντικά τις χρονικές προθεσμίες καθώς αποφασίζουν πόσο συχνά κάθε μέρος του προγράμματος εκτελείται. Οι μεταβλητές δεδομένων αντιπροσωπεύουν τις δομές δεδομένων της εφαρμογής. Για να ληφθούν υπόψη όλες αυτές οι μεταβλητές, χρειάζεται ένα μοντέλο περιγραφής που μας δίνει μια πλήρη εικόνα της δομής του συστήματος. Σε αυτό το μοντέλο, θα πρέπει να περιληφθεί 1) η αρχιτεκτονική του υλικού, 2) η λειτουργικότητα της εφαρμογής, 3) πληροφορίες σχετικά με το εξωτερικό περιβάλλον, 4) το είδος και τον όγκο του φόρτου εργασίας του συστήματος. Πολλές από αυτές τις μεταβλητές μπορούν να διαφοροποιούνται με ένα μη-αναμενόμενο τρόπο και η πλήρης γνώση της συμπεριφοράς τους μπορεί να είναι ένα πολύ πολύπλοκο πρόβλημα. Η προτεινόμενη μεθοδολογία επικεντρώνεται στις μεταβλητές με τις σημαντικότερες επιπτώσεις. Για να μειωθεί η δυσκολία σχεδιασμού, διερευνώνται εξαρτήσεις μεταξύ των μεταβλητών. Για παράδειγμα, είναι πιθανό μια μεταβλητή να είναι μερικώς ή πλήρως εξαρτημένη από άλλη μεταβλητή. Ως εκ τούτου, ορισμένες μεταβλητές μπορεί να αγνοηθούν διότι οι επιπτώσεις τους λαμβάνονται υπόψη μέσω άλλων μεταβλητών. Έτσι είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί μια ιεράρχηση των μεταβλητών του συστήματος με βάση 1) τον αντίκτυπο στη λειτουργικότητα του συστήματος και 2) τις εξαρτήσεις μεταξύ τους. Η διαδικασία αυτή θα εξάγει τις πιο σημαντικές παραμέτρους του συστήματος, οι οποίες ονομάζονται παράμετροι RTS και καθορίζουν την λειτουργικότητα του συστήματος. Γνωρίζοντας τις παραμέτρους RTS κατά το χρόνο σχεδίασης, μπορούμε να ορίσουμε ένα σχεδιαστικό χώρο εξερεύνηση με όλα τα πιθανά RTSs.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο χαρακτηρισμός του κόστους των RTSs δεν είναι ένας απλός προσδιορισμός μιας τιμής κόστους αλλά οδηγεί σε μία επιφάνεια Pareto ς σε ένα πολυδιάστατο χώρο εξερεύνησης. Κάθε RTS μπορεί να χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό παραγόντων κόστους που λαμβάνεται με τη χρήση υψηλού επιπέδου κοστολογητών. Οι διαστάσεις του κόστους μπορεί να περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά, όπως το μέγεθος του κώδικα, τον χρόνο εκτέλεσης, και την κατανάλωση ενέργειας. Σε μια απλή, αλλά αρκετά συχνά εμφανιζόμενη περίπτωση οι παράγοντες κόστους αποτελούνται από τον χρόνο εκτέλεσης και την συνολική κατανάλωση ενέργειας. Σε μια πιο πολύπλοκη περίπτωση περισσότεροι παράγοντες κόστους μπορούν να ληφθούν υπόψη. Κάθε παράγοντας κόστους προσθέτει μια επιπλέον διάσταση στο συνολικό κόστος. Κάθε RTS με μία συγκεκριμένη επιλογή χαρτογράφησης (mapping) της εφαρμογή και μία αντίστοιχη διαμόρφωση συστήματος θα οδηγήσει σε ένα δυνητικά διαφορετικό συμβιβασμό μεταξύ των διατάσεων κόστους, το οποίο αντιπροσωπεύει ένα σημείο σχεδιασμού. Ένα τέτοιο σημείο Pi (Timei, Energyi) δεν είναι ένα σημείο Pareto αν ένα άλλο σημείο σχεδιασμού υπάρχει Pj (Timej, Energyj) για το οποίο ισχύει Timej ≤ Timei και Energyj ≤ Energyi. Το κριτήριο αυτό εκτείνεται στις N διαστάσεις: ένα σημείο Pi(c_{i1} , c_{i2} , ..., c_{iN}) κυριαρχείται από ένα άλλο σημείο Pj(c_{j1} , c_{j2} , ..., c_{jN}) εάν όλα $c_{iq} = c_{jq}$, q όπου q = 1, ... , N. Μια ειδική περίπτωση υπάρχει όταν $c_{iq} = c_{jq}$, q = 1, …, N. Σε αυτή την περίπτωση, τα σημεία λέγονται ισοδύναμα [36]. Έτσι, οι Pareto καμπύλες επιτρέπουν να διάκριση των βέλτιστων από τα μη-βέλτιστα σημεία. Έτσι, κάθε RTS χαρακτηρίζεται από μία καμπύλη Pareto.

Επιπλέον το σύστημα πρέπει να είναι ικανό να ανταποκριθεί σωστά σε οποιαδήποτε κατάσταση εντός των περιορισμών. Η συμβατική προσέγγιση σε αυτό το πρόβλημα είναι να σχεδιαστεί βάση της χειρότερη περίπτωσης. Αυτό οδηγεί σε μια πολύ δαπανηρή στρατηγική σχεδιασμού με μη αποδοτική αξιοποίηση των πόρων του συστήματος κάτι πολύ κρίσιμο ειδικά για κινητά συστήματα, όπου οι πόροι είναι πολλοί περιορισμένοι. Το κλειδί για αυτές τις πλατφόρμες είναι η υποστήριξη της απαραίτητης ευελιξίας στη χρήση των πόρων. Για παράδειγμα, αν μια φορητή συσκευή υποστηρίζει πολλαπλές συχνότητες επεξεργασίας οι

οποίες προσαρμόζονται με βάση τις τρέχουσες λειτουργίας (RTS), θα μπορούσε να διαχειριστεί πιο αποτελεσματικά την κατανάλωση ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, εάν εφαρμόσουμε για κάθε ξεχωριστό RTS μία διαφορετική διαμόρφωση το συνολικό κόστος συντονισμού θα είναι απαγορευτικά υψηλό. Έτσι, αντί για αυτό, επιλέγονται επιμέρους ρυθμίσεις κατά το χρόνο σχεδίασης, για ομαδοποιημένα RTSs. Έτσι η λύση που προτείνεται είναι τα RTSs που εμφανίζουν ομοιότητες σχετικά με την χρήση των πόρων να ανήκουν σε ένα ενιαίο σενάριο συστήματος. Έτσι, τα σενάρια συστήματος οδηγούν σε λιγότερες καταστάσεις για τις οποίες εφαρμόζεται μια διαμόρφωση η οποία ικανοποιεί το RTS του σεναρίου με το μεγαλύτερο κόστος. Αναπόφευκτα αυτή η προσέγγιση οδηγεί σε υπερεκτίμηση πάλι των πόρων όπως στην περίπτωση σχεδιασμού βάση της χειρότερης κατάστασης όμως σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ μικρότερη γιατί περιορίζεται στο επίπεδο των RTSs που αποτελούν το ίδιο σενάριο. Το κόστος αυτό ονομάζεται κόστος ομαδοποίηση (Clustering Overhead). Είναι προφανές ότι, αν οι αποστάσεις στα κόστη μεταξύ των ομαδοποιημένων RTSs είναι αξιοσημείωτη, η υπερεκτίμηση κόστους θα είναι επίσης μεγάλη.

Ένα άλλο ανοιχτό ζήτημα είναι η επιλογή της κατάλληλης διαμόρφωσης συστήματος. Τα «knobs» του συστήματος καθορίζουν τις πιθανές διαμορφώσεις του συστήματος. Ως «knob», θεωρούμε κάθε μεταβλητή συστήματος, το οποίο μπορεί να μεταβληθεί από το χρήστη με άμεσο η έμμεσο τρόπο κατά το χρόνο εκτέλεσης. Ο ορισμός των knobs συστήματος εξαρτάται από τους στόχους σχεδιασμού και τις δυνατότητες ρύθμισης της πλατφόρμα. Για παράδειγμα, μια προσέγγιση σχεδιασμού με στόχο την κατανάλωση ενέργειας σε μια πλατφόρμα με δυνατότητες κλιμάκωσης της συχνότητας θα χρησιμοποιήσει ως knob την συχνότητα λειτουργίας. Η αλλαγή της διαμόρφωσης του συστήματος με βάση την τρέχουσα λειτουργία, μπορεί να βελτιώσει την αξιοποίηση των πόρων του συστήματος. Έτσι, αντί της επιλογής μια στατικής τιμής σε μία μεταβλητή συστήματος υπάρχουν διαφορετικές θέσεις «knobs». Για διαφορετικές καταστάσεις κατά το χρόνο εκτέλεσης, μία από αυτές τις θέσεις επιλέγεται, ανάλογα με το τρέχον σενάριο συστήματος και την απαιτούμενη ενεργειακή απόδοση. Ωστόσο, οι εναλλαγές στην ρύθμιση του συστήματος κατά το χρόνο εκτέλεσης εισάγει κόστος, το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό. Επιπροσθέτως, είναι αναγκαίο να καθορισθεί ένας μηχανισμός για την ανίχνευση των σεναρίων κατά το χρόνο εκτέλεσης. Η ανίχνευση των σεναρίων υλοποιείται με βάση τις τιμές των παραμέτρων RTS, οι οποίες αντιστοιχούν σε ένα μοναδικό RTS, το οποίο είναι ομαδοποιημένα σε ένα συγκεκριμένο σενάριο συστήματος. Έτσι, στα RTS πρέπει να είναι εύκολα παρατηρήσιμα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της εφαρμογής [36]. Από την άλλη πλευρά, η υλοποίηση της ανίχνευσης εισάγει πρόσθετη επιβάρυνση, η οποία επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Για να συνοψίσουμε, η μεθοδολογία σεναρίων συστήματος εισάγει τρεις βασικές επιβαρύνσεις κόστους (overheads). Η πρώτη είναι η επιβάρυνση ομαδοποίησης (clustering overheads), η οποία προκαλεί υπερεκτίμηση των απαιτούμενων πόρων συστήματος. Η δεύτερη επιβάρυνση είναι το κόστος ρύθμισης (switching overhead) το οποίο προκαλείται από τις εναλλαγές στις ρυθμίσεις του συστήματος σε πραγματικό χρόνο εκτέλεσης. Η τρίτη επιβάρυνση είναι το κόστος υλοποίησης του μηχανισμού ανίχνευσης των σεναρίων συστήματος. Στην πραγματικότητα υπάρχει ένας θεμελιώδης συμβιβασμός μεταξύ αυτών των επιβαρύνσεων. Για παράδειγμα, μια πολύ ευρεία ομαδοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμένα σενάρια συστήματος, τα οποία είναι εύκολο να ανιχνευθούν (χαμηλή επιβάρυνση ανίχνευσης), προκαλώντας μερικές μόνο αλλαγές στην διαμόρφωση πλατφόρμας (χαμηλό κόστος μεταγωγής). Αυτή όμως η προσέγγιση οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των RTSs μέσα στο σενάριο και την αντίστοιχη επιβάρυνση ομαδοποίησης (clustering overheads). Από την άλλη πλευρά, ένας μεγάλος αριθμός σεναρίων συστήματος μειώνουν το κόστος ομαδοποίησης αλλά αυξάνει τις περιπτώσεις ανίχνευσης κατά το χρόνο

εκτέλεσης και τις εναλλαγές στην διαμόρφωση του συστήματος. Κατά τον προσδιορισμό των σεναρίων συστήματος όλοι αυτοί οι συμβιβασμοί θα πρέπει να ληφθούν υπόψη

Η συστηματική εξερεύνηση του διαθέσιμου χώρου σχεδιασμού σε σχέση με τα προαναφερθέντες επιβαρύνσεις επιτρέπουν τη μείωση του συνολικού κόστους σε αποδεκτά επίπεδα. Έτσι, τα συνολικά κέρδη παραμένουν σε υψηλά επίπεδα. Ένα άλλο ζήτημα είναι η απαιτούμενη προσπάθεια σχεδιασμού. Μια συστηματική μεθοδολογία μπορεί να οδηγήσει σε απαγορευτικά υψηλό χρόνο και προσπάθεια σχεδίασης. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η πρόκληση, χωρίζουμε τη διαδικασία σχεδιασμού σε ξεχωριστά βήματα. Με αυτό τον τρόπο, κάθε βήμα είναι πολύ πιο απλό να διερευνηθεί και να εξευρεθεί μία βέλτιστη λύση.

2.2.3 Βήματα Μεθοδολογίας σε Ενσύρματες Phy-Oriented Πλατφόρμες

Σε αυτή την ενότητα, εφαρμόζεται η μεθοδολογία συστήματος σε ένα ασύρματο phy-oriented σύστημα. Θα ληφθούν υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας και θα παρουσιαστεί μια συστηματική ροή σχεδιασμού, που μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε ασύρματο σύστημα. Η παρουσίαση δεν περιορίζεται στην εφαρμογή των σεναρίων συστήματος. Προτείνονται νέες επεκτάσεις για την ομαδοποίηση (clustering), την ανίχνευση (detection) και την εναλλαγή (switching) των σεναρίων. Επίσης, μελετώνται οι συμβιβασμοί κόστους και προτείνονται μετασχηματισμοί οι οποίοι βελτιώνουν τα συνολικά κέρδη. Οι επόμενες παράγραφοι περιγράφουν τα βήματα μεθοδολογία λεπτομερώς.

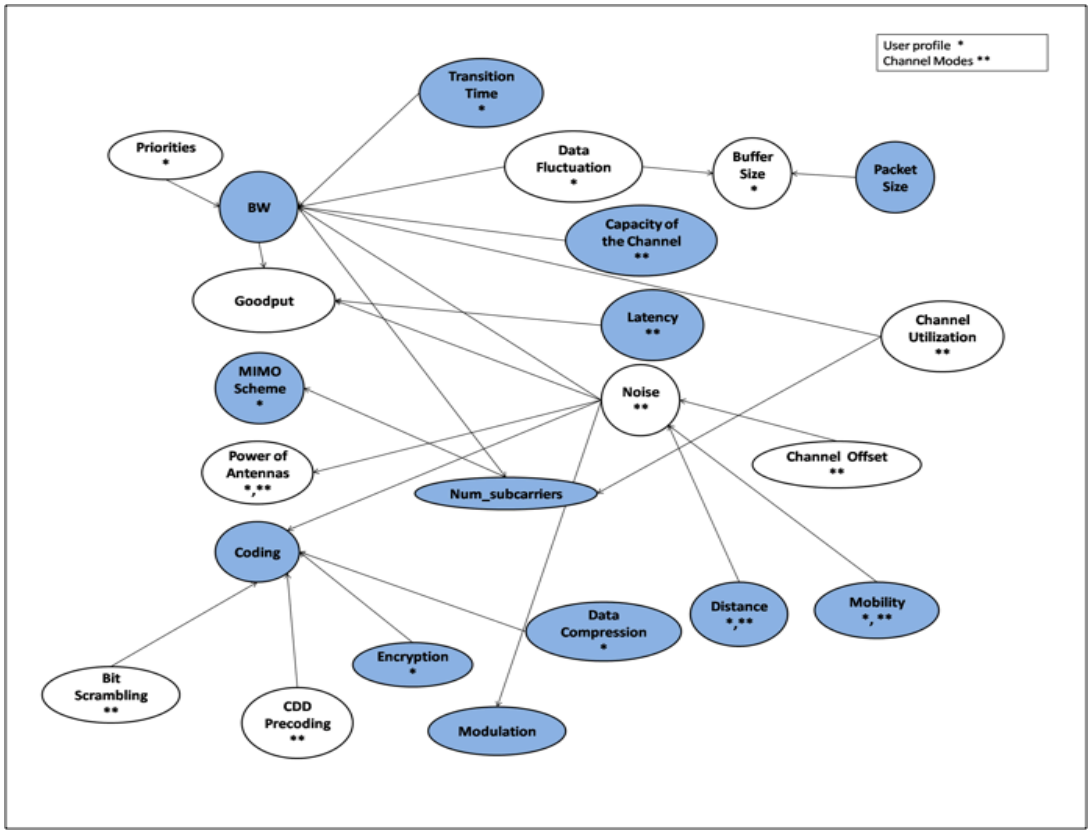
2.2.3.1 Αναγνώριση (Identification)

Το πρώτο βήμα είναι ο εντοπισμός όλων των πιθανών RTSs, που λαμβάνουν χώρα, σε ένα ασύρματο σύστημα. Αυτά τα συστήματα υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Πιο συγκεκριμένα, υποστηρίξουν μια ποικιλία πρωτοκόλλων επικοινωνίας με ειδικές εκπομπές και χαρακτηριστικά επεξεργασίας σήματος. Ο στόχος της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι να καθορίσει τα κριτήρια για την εξαγωγή των σεναρίων για κάθε ασύρματη εφαρμογή στο πλαίσιο μιας πλατφόρμας SDR. Η φιλοδοξία της SDR τεχνολογίας είναι να παρέχει μια κοινή πλατφόρμα για κάθε ασύρματη εφαρμογή. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι μελλοντικές ασύρματες εφαρμογές θα υλοποιούνται με την ίδια βάση ως προς το υλικό και θα διαφοροποιούνται μόνο στο επίπεδο της διαμόρφωσης του λογισμικού. Η βασική αρχιτεκτονική SDR περιλαμβάνει μέσα μετάδοσης (κεραίες), ψηφιακά frontends που ανιχνεύουν τα εισερχόμενα σήματα, επεξεργαστές βασικής ζώνης (BBEs) για την ψηφιακή επεξεργασία του σήματος και FLEXFEX επεξεργαστές για την κωδικοποίηση των δεδομένων. Ο αριθμός και το είδος των επιμέρους συστατικών σε κάθε επίπεδο εξαρτάται από τις ειδικές απαιτήσεις της πλατφόρμας.

Όπως έχουμε αναφερθεί ο καθορισμός του χώρου εξερεύνησης των RTS απαιτεί τον προσδιορισμό των μεταβλητών, οι οποίες διαφοροποιούν την λειτουργική κατάσταση του

συστήματος. Η θεωρία σεναρίων διακρίνει αυτές τις παραμέτρους 1) σε εσωτερικές και εξωτερικές μεταβλητές με βάση την πηγή της διαφοροποίησης και 2) σε μεταβλητές ελέγχου και δεδομένων βάση τον έλεγχο που ασκούν. Ως εσωτερική, θεωρούμε κάθε μεταβλητή, η οποία έχει άμεση επίδραση στο σύστημα, βρίσκεται στο εσωτερικό της εφαρμογής και σχετίζεται με αλλαγές στην λειτουργικότητα. Ως εξωτερικές θεωρούμε τις μεταβλητές, οι οποίες έχουν έμμεση επίδραση στην απόκριση του συστήματος, ξεκινούν από το εξωτερικό περιβάλλον και βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπίδραση με το σύστημα. Οι μεταβλητές ελέγχου ορίζουν τα διαφορετικά μονοπάτια εκτέλεσης της εφαρμογής. Για παράδειγμα, καθορίζουν, τις συνθήκες για τις διακλαδώσεις της εφαρμογής ή πόσες φορές ένας βρόγχος θα επαναληφθεί. Έτσι, οι μεταβλητές ελέγχου επηρεάζουν αποφασιστικά τον χρόνο εκτέλεσης και γιαυτό το λόγο θα επικεντρωθούμε κυρίως σε αυτό το είδος μεταβλητών. Οι μεταβλητές δεδομένων αντιπροσωπεύουν τα δεδομένα, τα οποία μεταφέρονται για επεξεργασία από την εφαρμογή.

Μία τυπική μεταβλητή ελέγχου, για μια ασύρματη εφαρμογή, είναι η επιλογή της κατάλληλης διαμόρφωσης (modulation scheme). Κάθε ασύρματο πρωτόκολλο υποστηρίζει μια ποικιλία διαμορφώσεων, οι οποίες μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της μετάδοσης και έχουν μια αξιοσημείωτη επίδραση στην επεξεργασία σήματος βασικής ζώνης. Μία τυπική μεταβλητή δεδομένων είναι ο αριθμός και το μέγεθος των μεταδιδόμενων πακέτων, η οποία έχει μεγάλη επίδραση στο μέγεθος της μνήμης που οι τύποι δεδομένων της εφαρμογής θα χρησιμοποιούν. Η Εικόνα 7, συνοψίζει τις μεταβλητές σε ένα ασύρματο σύστημα με τις αλληλεξαρτήσεις τους. Για παράδειγμα, η παρουσία θορύβου κατά τη διάρκεια μιας μετάδοσης, επηρεάζει την κωδικοποίηση και τη διαθεσιμότητα του εύρους ζώνης του καναλιού επικοινωνίας



Εικόνα 7. Ασύρματα συστήματα: εσωτερικές και εξωτερικές μεταβλητές

2.2.3.1.1 Εσωτερικές Μεταβλητές

Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας μας, θα πρέπει να οριστεί μια λεπτομερής περιγραφή της εφαρμογής. Στόχος μας είναι να εντοπισθούν οι μεταβλητές ελέγχου, οι οποίες καθορίζουν τις διαδρομές εκτέλεσης της εφαρμογής. Η πρώτη προσέγγιση για την περιγραφή μιας εφαρμογής πραγματικού χρόνου είναι η χρήση των task graphs, όπου κάθε task εξετάζεται ως «μαύρο κουτί». Αυτές οι δομές αποκρύπτουν την πολυπλοκότητα υλοποίησης της εφαρμογής δίνοντας μια πολύ αφηρημένη άποψη της λειτουργικότητας του λογισμικού. Από αυτή την προσέγγιση προκύπτουν ευέλικτες περιγραφές των διαδρομών εκτέλεσης, αλλά δεν παρέχονται οι απαραίτητες πληροφορίες για την εξερεύνηση των μεταβλητών του συστήματος. Από την άλλη πλευρά, κάποιοι σχεδιαστές ενσωματωμένων συστημάτων κάνουν χρήση πιο σύνθετων περιγραφών χρησιμοποιώντας control data flows graphs (CDFG) [38] [39] [40]. ΄Ενα CDFG είναι μια πολύ λεπτομερής αναπαράσταση της εφαρμογής κάνοντας ορατή στον σχεδιαστή κάθε πτυχή λειτουργίας, έτσι μπορούμε να πούμε ότι αυτή είναι μία προσέγγιση «λευκού κουτιού». Λόγω της ταχείας ανάπτυξης του ενσωματωμένου λογισμικού και της πολυπλοκότητας των νέων εφαρμογών, μια πιο λεπτομερής περιγραφή είναι απαγορευτική. Ανάμεσα στις δύο προσεγγίσεις μαύρο και λευκό κουτί στην περίπτωσή μας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μία ενδιάμεση «γκρίζο κουτί» λύση όπου κρύβει την περιττή πληροφορία διατηρώντας μόνο τα στοιχεία που μας ενδιαφέρουν. Η περιγραφή μας βασίζεται σε ένα multi-thread graph model [36] σε συνδυασμό με CDFGs στα σημεία όπου χρειάζονται περισσότερες λεπτομέρειες.

2.2.3.1.1.1 MTG Μοντέλο Περιγραφής

Το MTG (Multi Thread Graph) [36] είναι ένα μοντέλο περιγραφής της εφαρμογής με δύο επίπεδα granularity. Το υψηλό επίπεδο αφαίρεσης του MTG μοντέλου είναι ένα task graph, το οποίο παρέχει μια αφαιρετική επισκόπηση της δυναμικότητας της εφαρμογής, οριοθετώντας τις περιοχές όπου τα σενάρια συστήματος μπορούν να εφαρμοστούν. Αυτό επιτυγχάνεται με τον καθορισμό των ντετερμινιστικών από τα μη-ντετερμινιστικά μέρη της εφαρμογής, εισάγοντας την έννοια των Thread Frames (TFs). Ως TF, ορίζουμε ολοκληρωμένα κομμάτια κώδικα χωρίς κανενός είδους χειρισμού συμβάντος (event driven handling) η δυναμικής δημιουργίας task. Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι στο εσωτερικό ενός Thread Frame κανενός είδους συγχρονισμός δεν επιτρέπεται. Οι εσωτερικές λεπτομέρειες ενός TF δεν είναι ορατές στο σχεδιαστή. Παρουσιάζεται μόνο το πώς τα ντετερμινιστικά μέρη της εφαρμογής αλληλεπιδρούν με τα μη-ντετερμινιστικά μέρη. Ο στόχος της περιγραφής είναι να παρουσιαστούν με σαφή τρόπο οι εξαρτήσεις. Η μεθοδολογία σεναρίων συστήματος ισχύει μόνο για τις περιοχές όπου η λειτουργικότητα μπορεί να περιγραφεί πλήρως. Έτσι, το αφηρημένο μοντέλο MTG μας παρέχει το κατάλληλο επίπεδο περιγραφής για την έναρξη της ανάλυσης μας. Κάθε εφαρμογή μπορεί να χωριστεί σε τμήματα ντετερμινιστικών μερών, τα οποία συνθέτουν τα TFs, και απροσδιόριστων περιοχών τα οποία αντιπροσωπεύουν τις καταστάσεις χειρισμού συμβάντων.

Η πιο λεπτομερής περιγραφή του MTG μοντέλο είναι η περιγραφή εντός thread frame, το οποίο περιέχει ιεραρχικά διαγράμματα ελέγχου ροής δεδομένων (CDFGs). Τα CDFGs αποκαλύπτουν συχνά πολλές λεπτομέρειες που είναι λιγότερο ενδιαφέρον για την εξερεύνηση των σεναρίων συστήματος. Έτσι, μια ιεράρχηση των πληροφοριών, υλοποιείται η οποία οδηγεί σε μία ενδιάμεση «γκρι» προσέγγιση. Το γκρι μοντέλο ομαδοποιεί μέρος

των CDFGs μέσα σε μία δομή που ονομάζεται thread nodes (TNs). Έτσι, σε αυτό το πλαίσιο περιγράφεται εν μέρει το εσωτερικό των thread frames επεκτείνοντας το MTG γράφημα [36]. Μετασχηματισμοί μπορεί να εφαρμοστούν περαιτέρω ώστε να επιτευχθούν πιο συμπαγή γραφήματα [36]. Σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την εκτέλεση των thread frames τονίζονται ενώ λιγότερο σημαντικές λεπτομέρειες αποκρύπτονται. Στα όρια των TNs απεικονίζονται οι συνθήκες (conditions) των διαδρομών εκτέλεσης και τα σημεία ελέγχου λειτουργικότητας της εφαρμογής. Έτσι, το ενδιάμεσο μοντέλο μας δίνει το κατάλληλο επίπεδο λεπτομέρειας για τον ορισμό των RTS παραμέτρων προσδιορίζοντας τις πλέον σημαντικές μεταβλητές της εφαρμογής.

2.2.3.1.2 Ανάλυση PHY-Oriented Ασύρματων Πλατφόρμων

Σε αυτή τη μελέτη, επικεντρωνόμαστε σε ασύρματα συστήματα και ιδιαίτερα σε συστήματα Software Defined Radio (SDR), τα οποία υποστηρίζουν πολλαπλές ροές δεδομένων. Η ανάλυσή μας βασίζεται σε μια αρχιτεκτονική SDR που προτείνεται από την βιομηχανία και πιο συγκεκριμένα από την IMEC [9]. Στα συστατικά της πλατφόρμας περιλαμβάνονται τέσσερις κεραίες μετάδοσης με τέσσερα αντίστοιχα Digital Front-ends (DFE) [42], δύο επεξεργαστές βασικής ζώνης (BBE) [43] και δύο επεξεργαστές διόρθωσης σφαλμάτων (FLEXFEX) [44]. Η διασύνδεση μεταξύ των στοιχείων επεξεργασίας υλοποιείται μέσω δύο cross bar. Τα Cross bars έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν πολλαπλά σχήματα διασύνδεσης μεταξύ των DFEs και των BBEs, και αντίστοιχα μεταξύ των BBEs και των FLEFECs. Η αρχιτεκτονική αυτή μπορεί να προσαρμοστεί για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις σε πολλαπλά πρότυπα επικοινωνίας (WLAN (802.11n) [45], LTE [46] και WiMAX [47]). Αυτό σημαίνει ότι η λήψη του σήματος, η μετάδοση και η επεξεργασία σήματος για αυτά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μπορούν να υλοποιηθούν από κοινά στοιχεία επεξεργασίας. Για παράδειγμα, τα πρότυπα επικοινωνίας υποστηρίζουν μεταδόσεις σε διαφορετικές περιοχές του φάσματος. Αυτό σημαίνει ότι τα digital frontends, που είναι υπεύθυνα για την ανίχνευση του σήματος, μπορούν να παρακολουθούν ταυτόχρονα όλες τις περιοχές ενδιαφέροντος. Ως εκ τούτου, οι επεξεργαστές βασικής ζώνης και κωδικοποίησης πρέπει να υποστηρίξουν τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά με βάση την τρέχουσα κατάσταση επικοινωνίας. Επιπλέον η περιοχή λειτουργίας γίνεται πολύ πιο πολύπλοκη, λόγω της δυνατότητας καθορισμού πολλαπλών ποών. Έτσι, η μεθοδολογία σεναρίων φαίνεται να έχει ευρύ χώρο ανάλυσης όλων αυτών των περιπτώσεων λειτουργία. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας όπως αναφέρθηκε προηγουμένως απαιτεί ντετερμινισμό. Έτσι, η προϋπόθεση είναι να καθοριστούν οι πηγές τυχαιότητας και η οριοθέτηση των thread frames. Πάνω σε αυτή την βάση λαμβάνουμε υπόψη τα ακόλουθα:

1) Στο σύστημα υπάρχουν δύο είδη συγχρονισμού:

   (α) Μεταξύ των digital fronts-ends καθένα από τα οποία συνδέεται με μία κεραία (κεραία συγχρονισμού).
   (β) Μεταξύ των digital front-ends και των επεξεργαστών βασικής ζώνης (baseband engines)

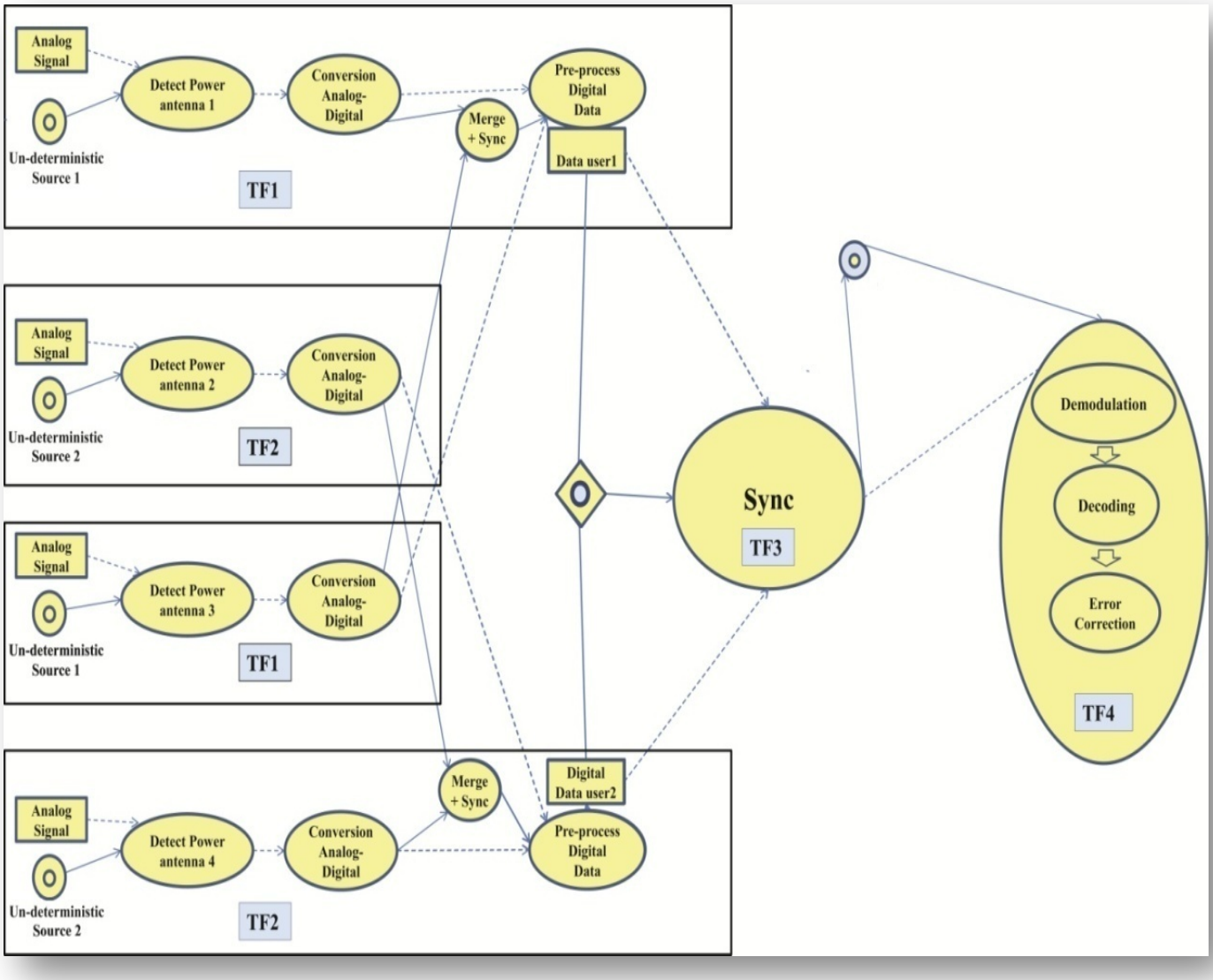
2) Κάθε υλοποίηση μίας νέας ασύρματης επικοινωνίας αντιπροσωπεύει ένα επιμέρους συμβάν (event) κατάστασης.

3) Κάθε πρότυπο επικοινωνίας μπορεί να υλοποιήσει μέχρι δύο ροές δεδομένων, ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, στο σύστημα μπορεί να υπάρχουν δύο ροές 802.11n υλοποιώντας δύο 2x2 MIMO σχήματα επικοινωνίας. Τα δεδομένα από τα δύο ρεύματα μπορούν να υποστούν επεξεργασία από το ίδιο BBE ή από ξεχωριστό.
4) Η πλατφόρμα μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα μέχρι τέσσερις ροές επικοινωνίας. Για παράδειγμα, στο σύστημα μπορεί να υπάρχει ταυτόχρονα μία LTE, μία WiMAX και δύο 802.11n ροές.

5) Ο συγχρονισμός των DFEs μεταξύ διαφορετικών κεραιών, οι οποίες λαμβάνουν ή αποστέλλουν δεδομένα από το ίδιο ρεύμα, δεν αποτελούν ξεχωριστή περίπτωση συμβάντος (event situation). Αυτό συμβαίνει, επειδή τα δεδομένα από το ίδιο ρεύμα χαρακτηρίζονται από κάποιο είδος ντετερμινισμού, ακόμη και αν μεταδίδεται από πολλαπλές κεραίες.

6) Η λειτουργικότητα στους επεξεργαστές βασικής ζώνης και FLEXFEX δεν διακόπτεται από συμβάντα κατάστασης (event driven situation) παρόλο που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά επίπεδα λειτουργίας. Αυτό σημαίνει ότι η επεξεργασία βασικής ζώνης και η αποκωδικοποίηση των δεδομένων είναι συνεχής και πλήρως ντετερμινιστική.

Με βάση τα παραπάνω εξάγουμε ένα MTG γράφημα όπως αυτό που παρουσιάζεται στην Εικόνα 8. Αυτό αντιστοιχεί σε μια γενική περιγραφή και αντιπροσωπεύει μία κατάσταση δύο ροών επικοινωνίας τα οποία εκτελούνται ταυτόχρονα σε μία SDR πλατφόρμα ακολουθώντας μία διαδρομή εκτέλεσης από την επεξεργασία σήματος στα digital front-ends, στην επεξεργασία των δεδομένων στους επεξεργαστές βασικής ζώνης και αποκωδικοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να διακρίνουμε τέσσερα βασικά Thread Frames (TFs). Τα TF1 και TF2 σχετίζονται με τις διεργασίες των κεραιών και των digital frontends. Το TF3 αντιπροσωπεύει το συγχρονισμό μεταξύ των BBEs και των Digital Front-Ends, και το TF4 περιλαμβάνει τη λειτουργία των BBEs και των FLEXFEC. Όπως βλέπουμε, το TF1 και TF2 στο γράφημα MTG, η λειτουργία των δύο Digital Front-Ends περιλαμβάνεται σε ένα κοινό Thread Frame (TF). Ο λόγος για την ύπαρξη δύο Thread Frames (TFs) για τέσσερα DFEs, βρίσκεται στο γεγονός ότι ο συγχρονισμός μεταξύ των δύο DFE του ίδιου ρεύμα δεν θεωρείται ξεχωριστό συμβάν. Από την άλλη πλευρά, ο συγχρονισμός μεταξύ των DFEs διαφορετικών ροών είναι μία μη-ντετερμινιστική κατάσταση. Τα δεδομένα από τα DFEs της ίδιας ροής συγχωνεύονται και προωθούνται σε μία FIFO, η οποία τροφοδοτεί τους επεξεργαστές βασικής ζώνης.



Εικόνα 8. Multi-Thread Γράφημα

2.2.3.1.3 Μετατροπή Αναλογικού Σήματος Σε Ψηφιακό – Μοντέλο περιγραφής

Τα DFEs υλοποιούν την διασύνδεση μεταξύ του αναλογικού μέρους μιας ασύρματης συσκευής και της επεξεργασίας βασικής ζώνης. Είναι επιφορτισμένα με την ανίχνευση του σήματος σαρώνοντας πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων. Επιτρέπουν την χρήση των κενών του φάσματος «λευκών χώρων» αποφεύγοντας τις παρεμβολές από γειτονικά κανάλια. Επίσης, μετασχηματίζουν τα σήματα στις κατάλληλες μορφές για την επεξεργασία βασικής ζώνης. Τα DFE είναι υπεύθυνα για τον συγχρονισμό των εισερχόμενων ροών και μπορούν να ενεργούν ανεξάρτητα ή σε συνεργασία με άλλες μονάδες επεξεργασίας. Επιπλέον, τα DFEs μπορούν να προσαρμόσουν την λειτουργία ολόκληρης της πλατφόρμα με βάση τις τρέχουσες καταστάσεις (π.χ. αν ληφθεί κάποιο αίτημα επικοινωνίας), διατηρώντας την πλατφόρμα σε αναμονή για τις ανενεργές περιόδους και εξοικονομώντας ενέργεια.

Εσωτερικά ένα DFE αποτελείται από μία κεντρική μονάδα που είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της ενεργοποίησης των επιμέρους λειτουργιών. Σε κατάσταση λήψης, το πρώτο βήμα γ είναι η αφαίρεση της DC μετατόπισης σήματος. Μετά από αυτό το επόμενο βήμα είναι το φιλτράρισμα και μία «προς τα κάτω» δειγματοληψία σήματος κατά έναν παράγοντα 2 ή 4. Σε αυτή τη φάση, είναι δυνατή η επιλογή της επιθυμητής μπάντας χρησιμοποιώντας μίκτες που επαναφέρουν το σήμα στην περιοχή λειτουργίας των ζωνοπερατών φίλτρων. Η ανίχνευση φάσματος και ο συγχρονισμός υλοποιείται από την ίδια μονάδα επεξεργασίας εκμεταλλευόμενοι τα αποτελέσματα της FFT ανάλυσης του σήματος εισόδου. Τα δεδομένα εξάγονται και προωθούνται σε FIFO καταχωρητές για περαιτέρω επεξεργασία. Η Εικόνα 9 παρουσιάζει μια σύντομη περιγραφή των κύριων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε ένα DFE μίας ασύρματης πλατφόρμας κατά τη διάρκεια μιας λήψης. Έτσι, η πρώτη ενέργεια κατά την έναρξη την λήψη είναι η ανίχνευση του εισερχόμενου σήματος. Στην διάρκεια αυτής της διαδικασία, το DFE αναζητά σε συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος σήματα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά με βάση τα υποστηριζόμενα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Όταν ένα σήμα ανιχνεύεται, το επόμενο βήμα είναι να μετατρέπει σε ψηφιακή μορφή ώστε να διαβιβαστεί για επεξεργασία βασικής ζώνης. Αν χρησιμοποιούνται πολλαπλές κεραίες για μία μετάδοση είναι απαραίτητος ο συγχρονισμός μεταξύ των δεδομένων, πριν αυτά μεταφερθούν στο ψηφιακό τμήμα.

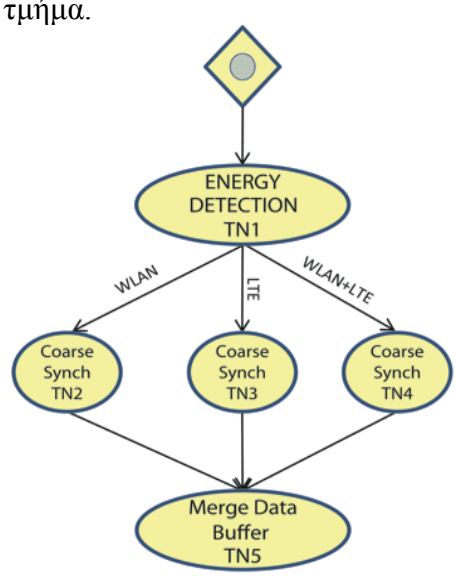


Figure 9. TF1, TF2 «Γκρι» μοντέλο περιγραφής

2.2.3.1.4 Ψηφιακή Επεξεργασία Βασικής Ζώνης – «Γκρι» Μοντέλο

Η ψηφιακή επεξεργασία περιλαμβάνει τις διαδικασίες, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στους επεξεργαστές βασικής ζώνης (BBEs) και στους επεξεργαστές διόρθωσης σφαλμάτων (FLEXFEC).Τα DFE buffers FIFO συνδέονται μέσω ενός cross bar με τις FIFOs των BBEs τροφοδοτώντας τις με δεδομένα. Μια BBE FIFO μπορεί να συγχωνεύσει τα δεδομένα από πολλαπλές DFE FIFOs, αλλά αυτό προαπαιτεί συγχρονισμό δεδομένων (TF3). Τα CDFGs στην εικόνα 10, παρουσιάζουν την ψηφιακή ροή επεξεργασίας αρχίζοντας από την επεξεργασία βασικής ζώνης. Η λεπτομερής περιγραφή της λειτουργικότητας βασικής ζώνης δεν συμπεριλαμβάνεται στους στόχους της παρούσας μελέτης (σχετικές πληροφορίες [48] [49]). Το μοντέλο περιγραφής που προτείνουμε τονίσει τις βασικές διαφοροποιήσεις για τον εντοπισμό των μεταβλητών συστήματος, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την ενεργοποίηση των ξεχωριστών καταστάσεων λειτουργίας.

Η επεξεργασία βασικής ζώνης αρχίζει με το διαχωρισμό των δεδομένων σε preamble και payload. Κατά την έναρξη της κάθε εκπομπής, μια αλληλουχία δεδομένων λαμβάνεται για τον καθορισμό της μετάδοσης. Αυτά τα δεδομένα είναι τα preamble δεδομένα που ακολουθούν μια προκαθορισμένη διαμόρφωση η οποία αναγνωρίζεται από τον επεξεργαστή βασικής ζώνης. Τα preamble δεδομένα μεταφέρουν τις βασικές πληροφορίες σχετικά με την διαμόρφωση της μετάδοση, την κωδικοποίηση των δεδομένων, το MIMO σχήμα επικοινωνίας καθώς και τις προδιαγραφές του ασύρματου καναλιού. Έτσι μέσο μίας διαδικασίας «handshake» εγκαθίσταται μία επικοινωνία προετοιμάζοντας το σύστημα για τη λήψη των δεδομένων. Μετά την επεξεργασία του preamble ακολουθεί μία διαδικασία scheduling και επεξεργασίας των payload δεδομένων. Το scheduling αφορά την εγκατάσταση παράλληλων ροών δεδομένων με την υλοποίηση συγχρονισμού και ενεργοποίησης των αντίστοιχων κεραιών. Τα συγχρονισμένα δεδομένα payload αποδιαμορφώνονται και προωθούνται στα FLEFEC για αποκωδικοποίηση. Η διαδικασία αποκωδικοποίησης περιλαμβάνει την ανάκτηση δεδομένων από πιθανά σφάλματα χωρίς να απαιτείται η αναμετάδοση τους. Εφαρμόζοντας τις ομαδοποιήσεις σε thread nodes, καταλήγουμε στο γκρίζο μοντέλο κουτί στην Εικόνα 11.

Στο «γκρι» μοντέλο, μπορούμε να δούμε μια αφαιρετική περιγραφή της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος, συμπεριλαμβανομένων τις υπό συνθήκη διακλαδώσεις (condition branches), καθώς και τις παραμέτρους που δημιουργούν διακυμάνσεις λειτουργίας. Μελετώντας το μοντέλο τις ακόλουθες μεταβλητές συστήματος, 1) αριθμός κεραιών, 2) διαμόρφωσης σήματος, 3) κωδικοποίησης σήματος 4) εύρος ζώνης. Αυτοί οι παράμετροι αντιπροσωπεύουν τις εσωτερικές μεταβλητές ελέγχου και να καθορίζουν μαζί με τις μεταβλητές δεδομένων και τις εξωτερικές μεταβλητές τον χώρο εξερεύνηση των RTSs. Ωστόσο, όπως έχει αναφερθεί, αυτές οι μεταβλητές μπορεί να συσχετίζονται στενά. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι η εμφάνιση του θορύβου παρεμβολής, ο οποίος έχει μεγάλη επίδραση στην διαθεσιμότητα του καναλιού μέσο του εύρους ζώνης και στην επιλογή του κατάλληλου σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.

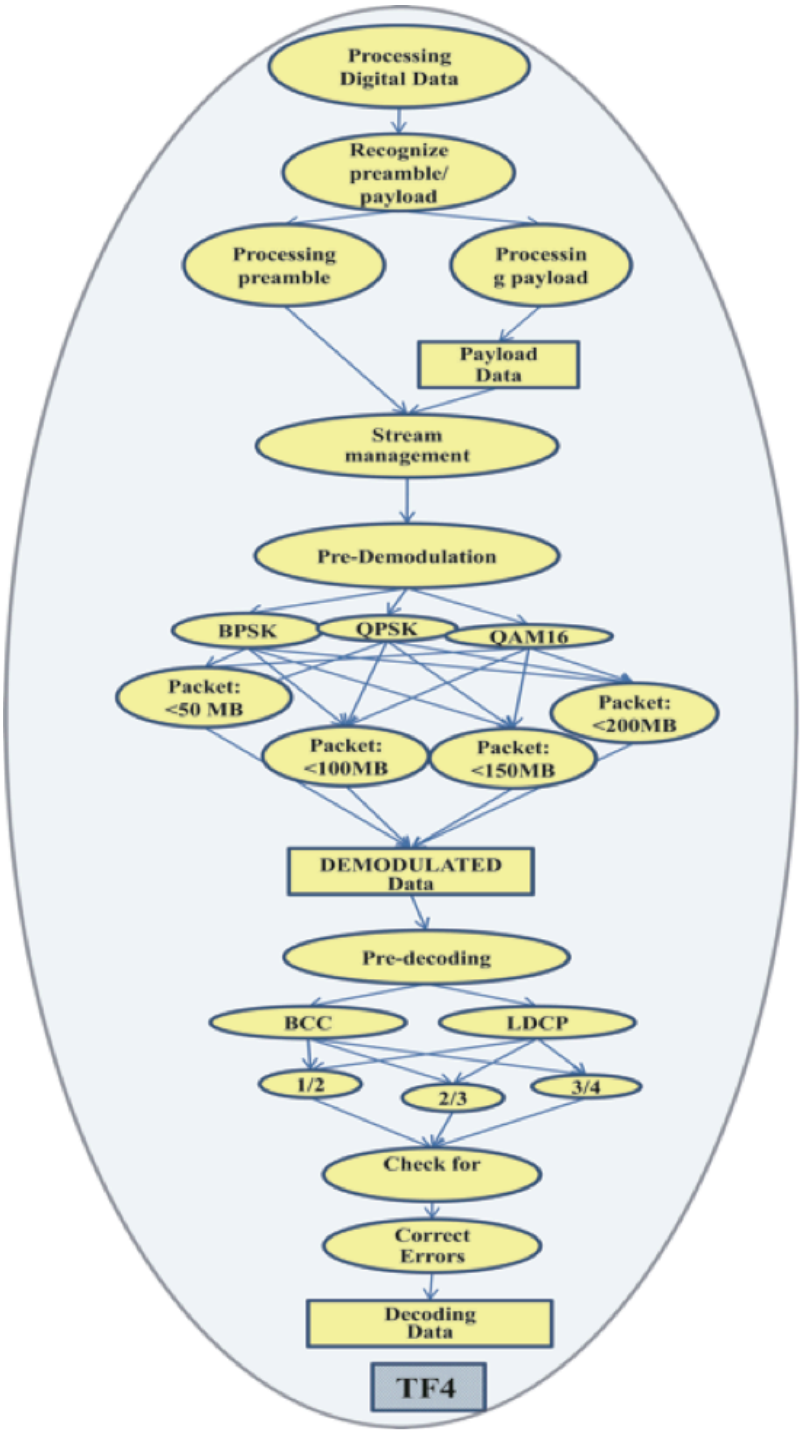


Figure 10. TF4 Ομαδοποιημένα CDFGs

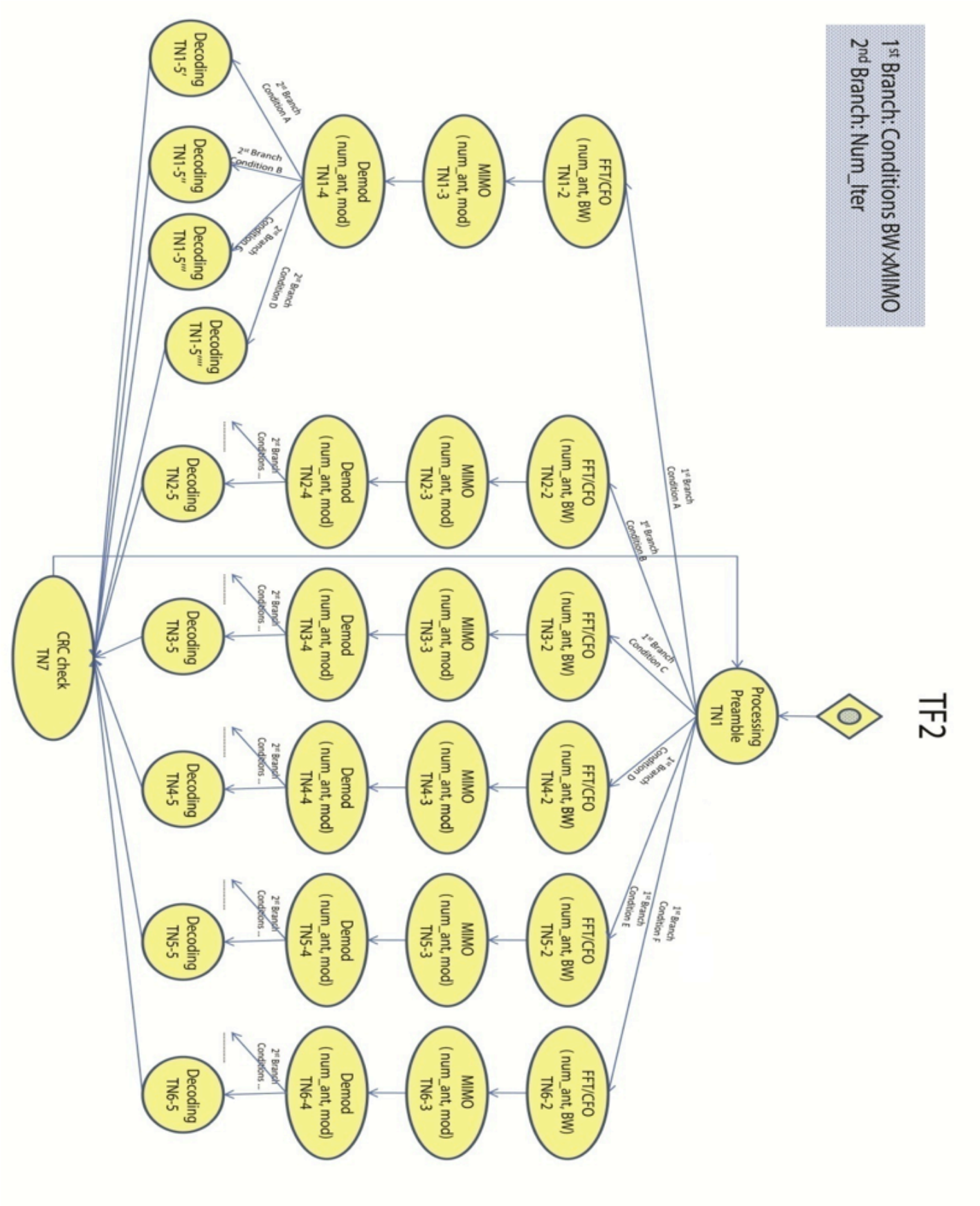


Figure 11. TF4 «γκρι» μοντέλο

2.2.3.1.5 Εξωτερικές Μεταβλητές

Οι πηγές παραμόρφωσης επηρεάσουν το κανάλι επικοινωνίας κατά τη διάρκεια μιας μετάδοσης. Ώς δίαυλος επικοινωνίας στα ασύρματα συστήματα, θεωρούμε τον ελεύθερο χώρο, ο οποίος παρεμβάλλεται μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Το κανάλι χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες προδιαγραφές 1) εύρος ζώνης, 2) επίπεδο θορύβου 3) παρεμβολή και 4) παραμόρφωση. Το εύρος ζώνης καναλιού εκφράζει το πόσο γρήγορα μπορούν να μεταβάλλονται τα σύμβολα σηματοδοσίας, το οποίο αντιστοιχεί σε ένα μέγιστο ρυθμό συμβόλων καναλιού. Ωστόσο, αυτή η ικανότητα του καναλιού μπορεί να επηρεαστεί από την εμφάνιση θορύβου, η οποία επιβάλλει ένα ανώτατο όριο στον αριθμό των συμβόλων που μπορούν να αποκωδικοποιηθούν σωστά σε ένα δέκτη. Επιπλέον, ο βαθμός παραμόρφωσης που εισάγεται από το κανάλι μπορεί επίσης να περιορίσει τον ρυθμό συμβόλων.

Όλες οι πηγές διαταραχής, εξαρτώνται άμεσα από το προφίλ του χρήστη. Η συμπεριφορά του χρήστη καθορίζει τις λειτουργίες που ενεργοποιούνται και επίσης επηρεάζουν την ποιότητα μετάδοσης αλληλεπιδρώντας με το εξωτερικό περιβάλλον. Έτσι, η επίδραση του χρήστη δεν περιορίζεται μόνο στην εκκίνηση ή τη διακοπή μίας μετάδοσης. Η μεταβολή της απόστασης μεταξύ του δέκτη και του πομπού, η ύπαρξη πολλαπλών διαύλων επικοινωνίας ή η ύπαρξη πηγών θορύβου είναι παράγοντες που επηρεάζουν τη μετάδοση και είναι άμεσα συσχετιζόμενοι με την κινητικότητα του χρήστη. Για παράδειγμα, αν ο χρήστης κινείται σε ένα κορεσμένο περιβάλλον σε σχέση με την χρήση του φάσματος ή σε ένα περιβάλλον με έντονη δραστηριότητα από άλλες συσκευές επικοινωνίας, αναμένονται στο κανάλι επικοινωνίας πολλές παρεμβολές και παρουσία θορύβου. Επιπλέον, εάν ο χρήστης αλλάζει τη θέση του πολύ γρήγορα (για παράδειγμα, εάν είναι σε ένα αυτοκίνητο), αυτό μπορεί να έχει επιπτώσεις στην αποδιαμόρφωση του εκπεμπόμενου σήματος (Doppler Effect). Έτσι, βλέπουμε ότι ο χρήστης καθορίσει άμεσα ή έμμεσα το εξωτερικό περιβάλλον στο οποίο μια ασύρματη συσκευή καλείται να δράσει. Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις επιπτώσεις των παρεμβολών, της παραμόρφωσης σήματος και του θορύβου στο [36].

2.2.3.1.5.1 Μεταβλητές Δεδομένων

Οι μεταβλητές δεδομένων αντιπροσωπεύουν τις δομές δεδομένων της εφαρμογής. Οι δομές αυτές μπορεί να είναι σταθεροί ή δυναμικοί πίνακες, συνδεμένες λίστες ή στοίβες. Οι ασύρματες εφαρμογές βασίζονται σε μετάδοση δεδομένων σε ομαδοποιημένη μορφή χρησιμοποιώντας πακέτα ή μπλοκ. Αυτές οι δομές μπορούν να αποτελούνται από άλλες μικρότερες δομές bits. Η αρχή εκπομπής βασίζεται στο ότι μαζί με τα βασικά δεδομένα (payload data) στέλνονται κάποιες επιπλέον πληροφορίες σχετικά με το συγχρονισμό των καναλιών και τις προδιαγραφές των δεδομένων. Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνονται σε μια επικεφαλίδα, η οποία προσδιορίσει τις τιμές των μεταβλητών ελέγχου για την κυρίως επεξεργασία των δεδομένων. Μια ποιοτική διαφοροποίηση μεταξύ των μεταβλητών ελέγχου και δεδομένων είναι ότι η πρώτη καθορίζει το είδος της επεξεργασίας ενώ η δεύτερη καθορίζει τον όγκο των δεδομένων για επεξεργασία. Για παράδειγμα, αρκετοί βρόχοι υλοποιούνται μέσα στην εφαρμογή για την αποκωδικοποίηση μίας ακολουθίας

δεδομένων. Μια μεταβλητή ελέγχου επιλέγει το κατάλληλο βρόχο, ο οποίος θα εφαρμόσει τον επιθυμητό τύπο αποκωδικοποίησης, αλλά ο αριθμός των δεδομένων που θα καθορίσει τον αριθμό των επαναλήψεων του βρόχου εξαρτάται από την αντίστοιχη δομή δεδομένων. Έτσι, οι μεταβλητές δεδομένων καθορίσουν την διάρκεια της εκτέλεσης ενώ οι μεταβλητές ελέγχου το είδος της εκτέλεσης. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι οι μεταβλητές δεδομένων αντιπροσωπεύουν το φόρτο εργασίας (workload) της εφαρμογής.

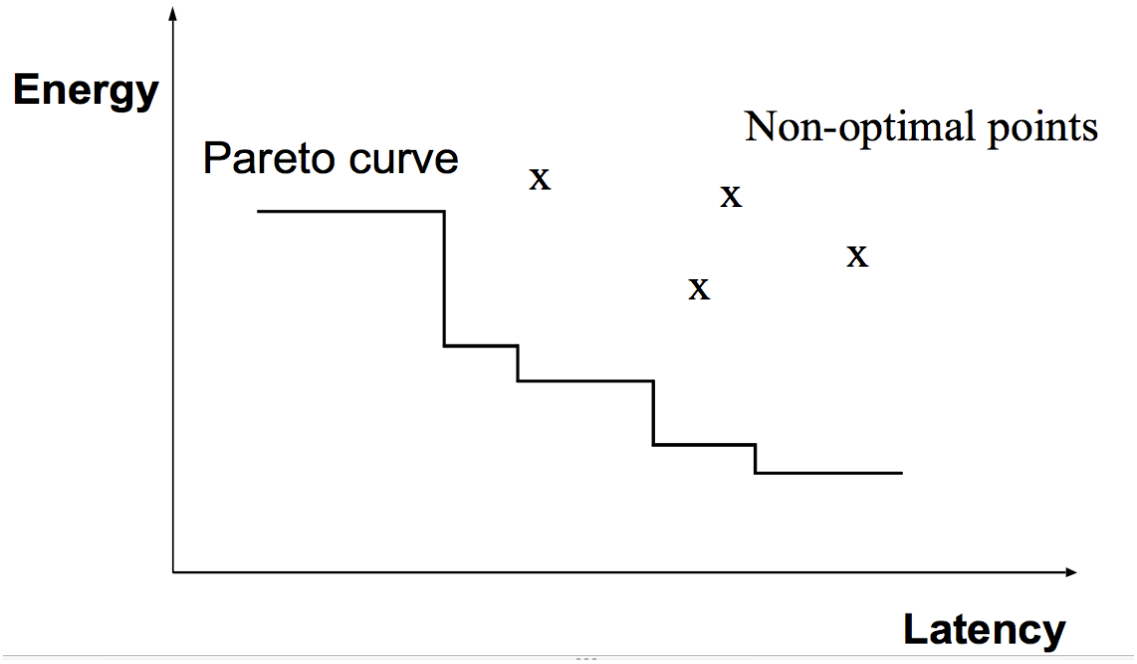
Η συμβατική προσέγγιση για το χαρακτηρισμό των μεταβλητών δεδομένων είναι μια στατική ανάλυση του κώδικα εφαρμογής. Σε δυναμικές ασύρματες εφαρμογές, αυτή η προσέγγιση είναι αναποτελεσματική, λόγω του απροσδόκητο τρόπου μετάδοσης των δεδομένων. Συμπεράσματα για την συμπεριφορά των δεδομένων μπορούν να εξαχθούν από την παρακολούθηση της κίνησης πραγματικών εφαρμογών με χρήση εργαλείων προφίλ σε χρόνο εκτέλεσης. Σε μία τέτοια περίπτωση η αντιπροσωπευτικότητα των καταστάσεων παρακολούθησης είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοπιστία της ανάλυσης. Ο στόχος είναι η πρόβλεψη τους σε πραγματικό χρόνο εκτέλεσης δίνοντας την δυνατότητα προετοιμασίας του συστήματος μέσω ενός διαχειριστή πόρων. Μια «έκρηξη» μεταδόσεων bits μπορεί να δημιουργήσει συγκρούσεις στα αιτήματα πόρων με αποτέλεσμα η πλατφόρμα να χρειάζεται κάποιο χρόνο προετοιμασίας για να αποφευχθεί η κατάρρευση του συστήματος. Ο ορισμός κάποιου παράθυρου ευκαιρίας προϋποθέτει την επίλυση ορισμένων κρίσιμων θεμάτων κατά το χρόνο σχεδιασμού.

Πιο συγκεκριμένα, η διακύμανση δεδομένων μπορεί να εμφανίσει δυναμική συμπεριφορά με μη-γραμμικά χαρακτηριστικά χωρίς να σημαίνει ότι οι καταστάσεις αυτές είναι εντελώς μη-ντετερμινιστικές. Η περιγραφή αυτών των καταστάσεων μπορεί να είναι ένα πολύ δύσκολο εγχείρημα, το οποίο περιλαμβάνει πολύπλοκους μαθηματικούς υπολογισμούς και προηγμένα εργαλεία σχεδιασμού. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι η πρόβλεψη απαιτεί την χρησιμοποίηση σημαντικών πόρων που είναι πολύ περιορισμένοι, ειδικά σε φορητές συσκευές. Η εφαρμογή μιας αποτελεσματικής προσέγγισης περιλαμβάνει αναλυτικές μεθόδους διάκρισης των μη-ντετερμινιστικών από τις ντετερμινιστικές καταστάσεις, και δείκτες τις που ανιχνεύουν σε πραγματικό χρόνο με χαμηλό κόστος υλοποίησης. Η παρούσα διατριβή θα ασχοληθεί με αυτές τις προκλήσεις στο κεφάλαιο 5, χρησιμοποιώντας μεθοδολογίες από την Θεωρία του Χάους.

2.2.3.2 Χαρακτηρισμός (Characterization)

Ο χαρακτηρισμός αντιπροσωπεύει την διαδικασία αξιολόγησης των διαστάσεων κόστους για κάθε RTS. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτό δεν είναι ένας απλός προσδιορισμός μιας τιμής κόστους αλλά οδηγεί σε μία επιφάνεια Pareto στο πολυδιάστατο χώρο εξερεύνησης. Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης κόστους όλα τα RTSs εξετάζονται για διαφορετικές διαμορφώσεις της πλατφόρμας. Αυτά αντιπροσωπεύουν διαφορετικά «knobs» συστήματος με συγκεκριμένες διαστάσεις κόστος. Κάθε knob πετυχαίνει ένα συγκεκριμένο συμβιβασμό μεταξύ των αξόνων κόστους. Οι βέλτιστοι συμβιβασμοί δημιουργούν μια επιφάνεια Pareto. Κάθε RTS μπορεί να χαρακτηρίζεται από πολλούς παράγοντες κόστους με χρήση υψηλού επιπέδου κοστολογητές. Στο κόστος περιλαμβάνεται η δέσμευση μνήμης, ο χρόνος εκτέλεσης και η συνολική κατανάλωση ενέργειας. Τα δύο τυπικά κόστη για ένα ασύρματο σύστημα είναι η κατανάλωση ενέργειας και η απόδοση που εκφράζεται ως

συνολική καθυστέρηση (latency) εκτέλεσης της λειτουργίας. Ως εκ τούτου ο χώρος κόστους είναι συνήθως δύο διαστάσεων, Εικόνα 12.



Εικόνα 12. Χαρακτηρισμός- Pareto Καμπύλη

Pareto Curve Βελτιστοποίηση

Η έννοια της Pareto βελτιστοποίησης είναι χρήσιμη για το χειρισμό του πολυδιάστατου κόστους των RTSs δίνοντας ένα σύνολο από βέλτιστες διαμορφώσεις. Ένας σχεδιαστής μπορεί να λάβει υπόψη του μόνο τις Pareto λύσεις χωρίς να ασχολείται με το πλήρες φάσμα των παραμέτρων. Η ανάλυση Pareto έχει πολλές πρακτικές εφαρμογές [50], και ιδιαίτερα σε προβλήματα εξερεύνησης σχεδιαστικών χώρων [51] [52]. Ένας χώρος σχεδιασμού αποτελεί ένα σύνολο σημείων με πολλαπλές διαστάσεις κόστους. Ως σημείο σχεδιασμού ορίζεται ένα RTS με μία συγκεκριμένη διαμόρφωση λειτουργίας. Η Pareto καμπύλη περιλαμβάνει μόνο τα σημεία σχεδιασμού, τα οποία είναι πλησιέστερα στους άξονες κόστους δίνοντας τους καλύτερους συμβιβασμούς σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σημεία. Ο σκοπός της καμπύλης pareto δεν είναι να παρέχει μια βέλτιστη λύση για κάθε RTS αλλά να ορίσει ένα χώρο με ενδιάμεσες βέλτιστες λύσεις με βάση τις απαιτήσεις λειτουργίας. Για παράδειγμα, στη Εικόνα 12, εάν η πρώτη προτεραιότητα είναι η κατανάλωση ενέργειας θα επιλεγεί ένα σημείο σχεδίασης πλησιέστερα στο οριζόντιο άξονα. Αντίστοιχα, αν η προτεραιότητα είναι η καθυστέρηση θα επιλεγεί ένα σημείο πιο κοντά στον κάθετο άξονα Έτσι, η καμπύλη Pareto δίνει τις ενδιάμεσες λύσεις μεταξύ των δύο ακραίων επιλογών. Για να συνοψίσουμε, οι καμπύλες Pareto περιγράφουν τους συμβιβασμούς από τις πιθανές διαμορφώσεις του συστήματος, δίνοντας μια ιεράρχηση των βέλτιστων σημείων σχεδιασμού.

2.2.3.3 Ομαδοποίηση (Clustering)

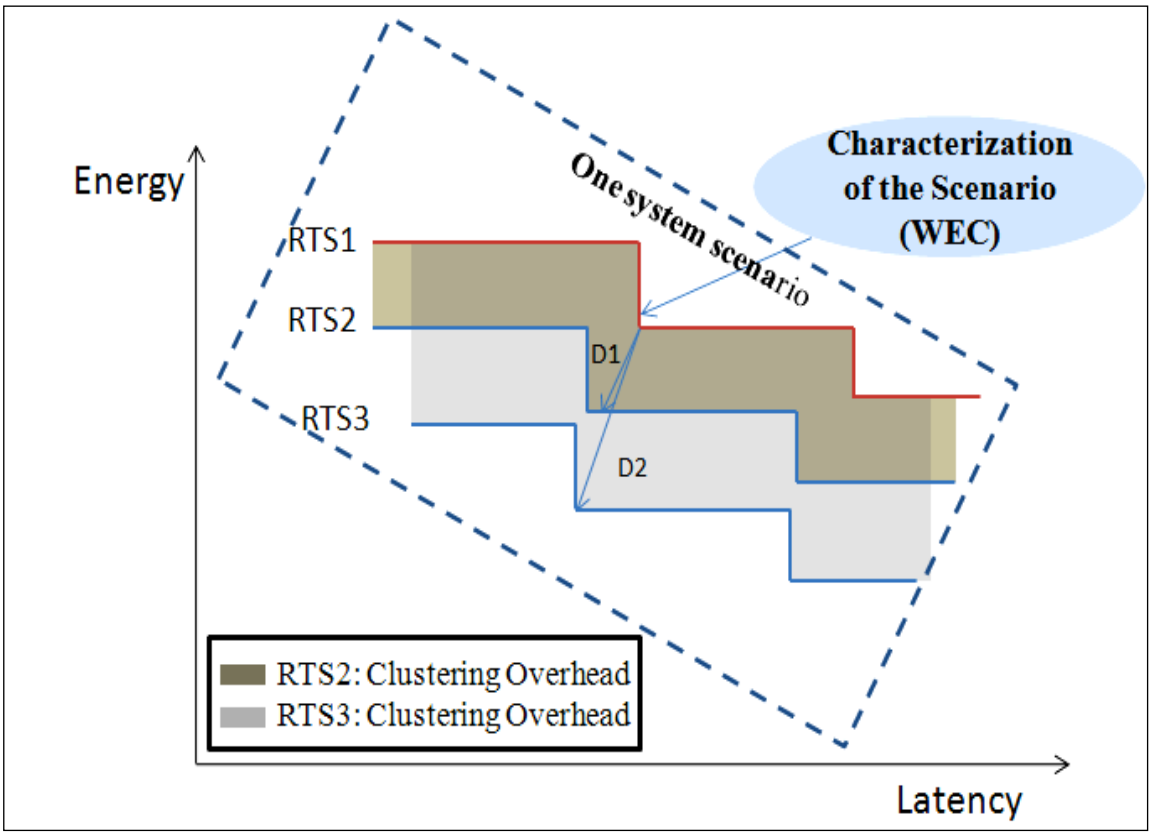
Όπως έχουμε αναφέρει ο ξεχωριστός χειρισμός κάθε RTS θα οδηγούσε σε μία υπερβολική αύξηση του κόστους χειρισμού κατά το χρόνο εκτέλεσης, δεδομένου ότι ο κώδικας και οι ρυθμίσεις που είναι αναγκαίες θα πρέπει να αποθηκευτούν για κάθε RTS ξεχωριστά για να εφαρμοστούν κατά το χρόνο εκτέλεσης. Έτσι, τα RTSs ιεραρχούνται σε ομάδες, που ονομάζονται σενάρια συστήματος. Οι αντιδράσεις του συστήματος πραγματοποιούνται στην βάση των σεναρίων ώστε να καταστεί η υλοποίηση ενός διαχειριστή πόρων απλούστερη. Όμως η διαδικασία ομαδοποίησης εισάγει αναπόφευκτα μία υπερεκτίμηση στην εκτίμηση των αναγκαίων πόρων, που ονομάζεται κόστος ομαδοποίησης (clustering overhead) και προκαλείται από την απόκλιση μεταξύ του πραγματικού κόστους των RTS και του εκτιμώμενου κόστους που είναι το αντιπροσωπευτικό κόστος του σεναρίου στο οποίο ανήκει το RTS. Η ιδέα πίσω από την ομαδοποίηση είναι αντί να έχουμε πολλές περιπτώσεις με αυξημένη πολυπλοκότητα ορίζουμε λιγότερες περιπτώσεις χάνοντας όμως σε ακρίβεια εκτίμησης των αναγκαίων πόρων. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι έχουμε εκατό RTSs των οποίων το κόστος μεταβάλλεται κατά 5%. Αν θεωρήσουμε ότι το πιο κοστοβόρο RTS αντιπροσωπεύει όλες τις περιπτώσεις έχουμε μια υπερεκτίμηση στη διαδικασία κατανομής των πόρων του συστήματος 5%. Αν πάλι θεωρήσουμε ένα RTS μέσης κατανάλωσης η υπερεκτίμηση θα είναι χαμηλότερη, αλλά οι διαθέσιμοι πόροι δεν θα ικανοποιήσουν κάποια deadlines για αυτό δεν συνιστάται για hard deadline συστήματα που εξετάζονται στη παρούσα μελέτη. Βλέπουμε λοιπόν ότι η διακύμανση κόστους σε μια ομάδα RTS καθορίζει την ακρίβεια της εκτίμησης των αναγκαίων πόρων σε χρόνο εκτέλεσης. Έτσι, το πρώτο κριτήριο για την ταξινόμηση των RTSs σε σενάρια συστήματος είναι η ομοιότητα κόστους τους εκμεταλλευόμενοι τις μικρές αποστάσεις μεταξύ των pareto καμπύλων τους. Υπερεκτίμηση προκαλείται σε κάθε εμφάνιση κάποιου RTS πλην αυτού που είναι το αντιπροσωπευτικό της ομάδας. Έτσι, η συνολική υπερεκτίμηση θα είναι ανάλογη όχι μόνο της απόστασης μεταξύ του κόστους των RTSs αλλά επίσης και της συχνότητας εμφάνισης κάθε RTS.

Η ομαδοποίηση υλοποιείται χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση κόστους που συσχετίζει την βελτιστοποίηση ενός επιδιωκόμενου στόχου λαμβάνοντας υπόψη το πόσο συχνά εμφανίζεται κάθε RTS στο χρόνο εκτέλεσης και την απόσταση των Pareto καμπυλών τους. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 13, έχουμε ένα δυσδιάστατο χώρο με τρία RTSs (RTS1, RTS2, RTS3) και τις αντίστοιχες καμπύλες Pareto. Το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης αυτών των RTSs σε ένα σενάριο συστήματος χαρακτηρίζεται από την μεγαλύτερη σε κόστος καμπύλη Pareto (Εικόνα 13: καμπύλη Pareto - RTS1). Χαρακτηρίζοντας τα RTSs με την χειρότερη περίπτωση, το σενάριο παρουσιάζει αναπόφευκτα ένα κόστος ομαδοποίησης (ανοιχτό γκρι και καφέ περιοχή, Εικόνα 13). Αν θέλουμε να ορίσουμε μαθηματικά αυτό το πρόβλημα, ονομάσουμε το κόστος ομαδοποίησης ως (CO) και τις αποστάσεις μεταξύ των καμπύλων D1 και D2 για τα RTS2 και RTS3 αντίστοιχα. Έτσι το κόστος ομαδοποίησης θα δίνεται από την Εξίσωση 1. Αυτό το κόστος εμφανίζεται κάθε φορά που εκτελείται ένα από τα RTS που δεν είναι το RTS1. Έτσι, η συνολική επιβάρυνση ομαδοποίησης (TCO), θα είναι ανάλογη της συχνότητα εμφάνισης των RTSs (Εξίσωση 2). Το TCO αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ της πρόβλεψης για την χρήση των πόρων και της πραγματικής ανάγκης και είναι πάντα θετική αφού για να εξασφαλιστούν όλες οι προθεσμίες υπερεκτιμούμε τα κόστη.

$$CO_{RTS} = WEC - RE_{RTS} \quad (1)$$

$$TCO = \sum_{i=0}^{n} F_{RTS(i)} CO_{RTS(i)} \quad \sum_{i=0}^{n} F_{RTS(i)} CO_{RTS(i)} \quad (2)$$

TCO:Συνολικό Κόστος(Overhead), CO: Κόστος ομαδοποίησης ανά RTS, WEC: Χειρότερη περίπτωση εκτίμησης, RE: Πραγματική εκτίμηση, F_{RTS}: Συχνότητα εμφάνισης RTS



Εικόνα 13. Επιβάρυνση ομαδοποίησης (Clustering Overhead)

2.2.3.4 Ανίχνευση (Detection)

Ένας προγραμματισμός πόρων με βάση το σενάριο λειτουργίας του συστήματος απαιτεί μια εφαρμογή ανίχνευσης για τον προσδιορισμό της κατάστασης λειτουργίας και της αναγνώρισης του αντίστοιχου σεναρίου. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να ενσωματωθεί στο middleware, π.χ. RTOS, της πλατφόρμας στόχου. Ένα run-time σύστημα αναγνώρισης σεναρίων αποτελείται από δύο βασικά μέρη λειτουργίας το πρώτο αποτελεί την ανίχνευση της αλλαγής κατάστασης με την παρακολούθηση των τιμών των RTS παραμέτρων και το δεύτερο είναι ο προσδιορισμός των σεναρίων του συστήματος, το οποίο απαιτεί ένα προκαθορισμένο δέντρο απόφασης. Η ανίχνευση των αλλαγών στις τιμές μπορεί να

υλοποιηθεί εύκολα με την εγκατάσταση ενός εργαλείου ανίχνευσης στον πηγαίο κώδικα της εφαρμογής, το οποίο ενημερώνεται από το σύστημα. Η υλοποίηση του δέντρου απόφασης είναι μια απαιτητική διαδικασία, η οποία προσθέτει κόστος τόσο σε χρόνο εκτέλεσης όσο και σε δέσμευση μνήμης. Το κρίσιμο σημείο είναι να διατηρηθούν τα συνολικά κόστη σε χαμηλά επίπεδα εκμεταλλευόμενοι τα οφέλη από την χρήση των σεναρίων. Ένα δέντρο απόφασης αποτελείται από τους κόμβους, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τις μεταβλητές και τις ακμές τους, οι οποίες αντιστοιχούν στις τιμές των μεταβλητών. Ένα ευρύ φάσμα μεταβλητών και τιμών μπορούν να δημιουργήσουν ένα πολύ περίπλοκο δέντρο απόφασης. Η πρόκληση είναι να ανακαλυφθούν ευρηματικές τεχνικές που να διασχίζουν το δέντρο απόφασης με το ελάχιστο κόστος.

Μία συνάρτησης ανίχνευσης f που ενσωματώνει απαιτήσεις, όπως ευελιξία και μικρή επιβάρυνση, είναι η υλοποίηση ενός διαγράμματος απόφασης κατευθυνόμενου άκυκλου γραφήματος G = (V, E) με ετικέτες στους κόμβους και στις ακμές του [18]. Οι κόμβοι που καταλήγουν οι ακμές παίρνουν ετικέτες από 1 έως s ενώ οι εσωτερικοί κόμβοι από τους οποίους ξεκινούν ακμές παίρνουν ετικέτες από ξ1 έως ξn (ξ1 είναι ο κόμβος πηγή). Κάθε εσωτερικός κόμβος, ξk, αντιστοιχεί σε μία παράμετρο RTS με έναν αριθμό εξερχόμενων ακμών ίσο με τον αριθμό ξk(i) των διαφορετικών τιμών της παραμέτρου. Η ανίχνευση σεναρίου επιτυγχάνεται με την διάσχιση του γράφου. Σε κάθε διαδρομή από τον κόμβο πηγή προς έναν κόμβο κατάληξης κάθε παράμετρος RTS συναντάται το πολύ μία φορά. Ο μηχανισμός ανίχνευσης, εισάγει δύο βασικά κόστη: (i) σε δέσμευση μνήμης από τον κώδικα υλοποίησης και (ii) σε κύκλους από την εκτέλεση του κώδικα ανίχνευσης. Για την κατασκευή ενός αλγορίθμου ανίχνευσης σεναρίων σε μία ασύρματη πλατφόρμα βασιζόμαστε σε ένα διάγραμμα απόφασης, που υλοποιείται από μια αυστηρά καθορισμένη γλώσσα προγραμματισμού. Έτσι πρέπει να οριστεί ένα σύνολο από εντολές που θα εκτελεί αυτός ο μηχανισμός.

Στο σύνολο των εντολών (βλέπε πίνακα 1) 3 βασικές εντολές (JEQ, JL, JMP) χρησιμοποιούνται για να γίνει η διάσχιση του διαγράμματος απόφασης και 3 επιπλέον εντολές (SEQ, SLE, SBK) για την ανίχνευση του τελικού σεναρίου. Οι οδηγίες JEQ, JL, SEQ, SLE έχουν τρία ορίσματα: 1) τον παρόν κόμβο, 2), την τιμή της παραμέτρου RTS που δίνει την κατεύθυνση προς τον επόμενο κόμβο και 3) την επόμενη προς εκτέλεση εντολή ή την ανίχνευση του σεναρίου αν έχουμε φτάσει στο τέλος του γράφου. Οι άλλες εντολές είναι μη προκαθορισμένα άλματα σε κόμβους βάση ορισμάτων. Αυτές οι εντολές υλοποιούν τις μεταβάσεις από τον ένα κόμβο στον άλλο αντιστοιχώντας τις τιμές των RTS παραμέτρων με τις τιμές, οι οποίες εμφανίζονται στις ακμές του διαγράμματος αποφάσεως. Στην Εικόνα 14 παρουσιάζεται η υλοποίηση του μηχανισμού που εκτελεί τις εντολές για την διάσχιση του διαγράμματος απόφασης.

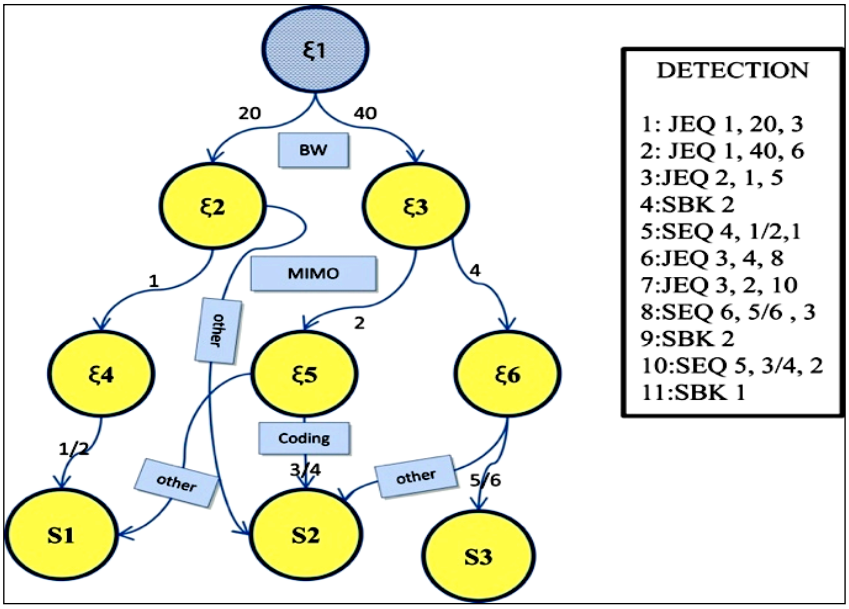
Η Εικόνα 15 παρουσιάζει έναν αλγόριθμο ανίχνευσης για μία δεδομένη εφαρμογή με τρεις RTS παραμέτρους (εύρος ζώνης, αριθμό κεραιών, κωδικοποίησης). Ο αλγόριθμος ανίχνευσης ξεκινά από τον κόμβο πηγή ξ1, χρησιμοποιώντας την εντολή {JEQ: 1, 20, 3}, δλδ. αν το τρέχον εύρος ζώνης είναι ίσο με 20 MHz. Αν είναι αλήθεια η ανίχνευση πηγαίνει στη γραμμή 3. Στη νέα γραμμή εντολών, είμαστε στο εσωτερικό κόμβο 2 και έχουμε μια νέα παράμετρο RTS (αριθμό κεραιών) ο έλεγχος υλοποιείται με μια νέα εντολή {JEQ: 2, 1, 5}. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου το διάγραμμα απόφασης καταλήξει σε ένα σενάριο.

JEQ <var> <val> <address> Jump to <address> if <var> is equal to <val>
JL <var> <val> <address> Jump to <address> if <var> is less than <val>
JMP - - <address> Unconditional jump to <address>
SEQ <var> <val> <scenario> Predict <scenario> if <var> is equal to <val>
SLE <var> <val> <scenario> Predict <scenario> if <var> is less or equal to <val>
SBK - - <scenario> Predict <scenario> as a backup scenario

Πίνακας 1. Σύνολο εντολών ανίχνευσης

```
detectScenario(HashTable values,Vector dd)
        1 pc Ã 1
        2 while true
            3 do value Ã valuesddpc]:variable-id]
                4 if (ddpc]:op = jeq and value = ddpc]:value) or
                        (ddpc]:op = jl and value < ddpc]:value) or (ddpc]:op = jmp)
                    5 then pc Ã ddpc]:data
                6 elseif (ddpc]:op = seq and value = ddpc]:value) or
                        (ddpc]:op = sle and value · ddpc]:value) or (ddpc]:op = sbk)
                    7 then return ddpc]:data
                    8 else pc ++
```

Εικόνα 14. Διάγραμμα απόφασης μηχανισμός εκτέλεσης



Εικόνα 15. Διάγραμμα απόφασης ασύρματης εφαρμογής

2.2.3.5 Εναλλαγή (Switching)

Αφού αναγνωρισθούν τα σενάρια συστήματος και καθοριστεί η κατάλληλη προσέγγιση ανίχνευσης, το επόμενο βήμα είναι η εφαρμογή ενός αλγορίθμου απόφασης της αντίδρασης του συστήματος με την αλλαγή η μη της διαμόρφωσης της πλατφόρμας. Στα προηγούμενο βήμα (χαρακτηρισμού των σεναρίων), μπορούμε να εκτιμήσουμε τις κατάλληλες διαμορφώσεις για κάθε σενάριο συστήματος που σέβεται τους περιορισμούς της εφαρμογής με το ελάχιστο κόστος. Η επιλογή των διαμορφώσεων μπορεί να σχετίζεται με την προσαρμογή της τάσης τροφοδοσίας ή άλλες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας, όπως processor resizing [53] και cache resizing [54]. Σε κάθε σενάριο συστήματος αντιστοιχεί ένα βέλτιστο σύνολο από διαμορφώσεις συστήματος, σε μια Pareto καμπύλη από πιθανά σημεία λειτουργίας αποθηκευμένα σε μία λίστα .

Αυτό που χρειαζόμαστε τώρα είναι η υλοποίηση ενός μηχανισμού, ο οποίος θα ανταποκρίνεται στην ανίχνευση ενός νέου σεναρίου και θα αποφασίσει αν θα ενεργοποιεί μία νέα διαμόρφωση ή όχι, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος ενεργοποίησης. Αν το νέο σενάριο συστήματος δεν αναμένεται να διαρκέσει πολύ και το κέρδος G είναι περιορισμένο, τότε το απαιτούμενο κόστος αλλαγής, θα είναι περισσότερο από το G και άρα μη συμφέρουσα η αλλαγή στην διαμόρφωση του συστήματος. Ως κόστος εναλλαγής (switching overhead) γενικά, ορίζουμε το κόστος για την μεταβολή από μία διαμόρφωση σε μία άλλη. Το κόστος αυτό θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από την αρχική και την τελική κατάσταση. Η μαθηματική έκφραση του προβλήματος δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\mathrm{TSO} = \sum_{j=0}^{n} \mathrm{SO}_{\mathrm{Sen}(j \rightarrow j+1)} \quad (3)$$

TSO: Total Switching Overhead, SO: κόστος εναλλαγής από ένα σενάριο στο επόμενο σενάριο j+1.

Παράλληλα οι ασύρματες πλατφόρμες που υποστηρίζουν πολυμεσικές και άλλες εφαρμογές πραγματικού χρόνου, πρέπει να παρέχουν ένα ελάχιστο QoS. Αυτό σημαίνει ότι οι εφαρμογές αυτές έχουν στενούς χρονικούς περιορισμούς που δεν πρέπει να παραβιάζονται. Έτσι, ο μηχανισμός εναλλαγής θα αποφασίσει για τη βέλτιστη διαμόρφωση του συστήματος εκτιμώντας το συνολικό κόστος μετάβασης, που θα εγγυάται όμως τους χρονικούς περιορισμούς. Συνοψίζοντας, οι αποφάσεις που λαμβάνονται κατά την εναλλαγή πρέπει να ικανοποιούν δύο βασικές προϋποθέσεις: 1) η επιλεγμένη διαμόρφωση του συστήματος πρέπει να πληρεί τις προθεσμίες των εισερχόμενων σεναρίων και 2) το εισαγόμενο κόστος εναλλαγής πρέπει να είναι μικρότερο από το συνολικό κέρδος. Για την εφαρμογή του αλγόριθμου αποθηκεύουμε για κάθε σενάριο συστήματος μια σειρά από σημεία διαμόρφωσης, τα οποία σέβονται τις χρονικές προθεσμίες με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Οι πιθανές καταστάσεις που ένας αλγόριθμος εναλλαγής μπορεί να αντιμετωπίσει κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος περιγράφονται παρακάτω:

1) Η τρέχουσα διαμόρφωση του συστήματος τηρεί τις προθεσμίες, αλλά αυτή η ρύθμιση δεν είναι η βέλτιστη ενεργειακά. Το επόμενο βήμα είναι να εξετάσουμε τη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας, μίας ενδεχόμενης εναλλαγής στην διαμόρφωσης

λαμβάνοντας υπόψη το προστιθέμενο κόστος. Η μαθηματική έκφραση αυτού του προβλήματος παρουσιάζεται παρακάτω:

$$EG = T_{si}G_{si} - EC_{si} \quad (4)$$

EG: Συνολικό κέρδος ενέργειας T_{si}:διάρκεια σεναρίου si, EC: κόστος εναλλαγής, G_{si}: κέρδος ανα μονάδα χρόνου μετά την αλλαγή διαμόρφωσης.

Είναι προφανές από την προηγούμενη εξίσωση ότι η συνολική αύξηση της ενέργειας εξαρτάται άμεσα από τη διάρκεια του νέου σεναρίου και το ενεργειακό κόστος της αλλαγής τόσο από άποψη κύκλων όσο και χώρου μνήμη. Έτσι, αν η διάρκεια του εισερχόμενου σεναρίου δεν είναι αρκετά μεγάλη (γινόμενο του Tsi και του GSI πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το κόστος) το σύστημα θα κρατήσει την ίδια διαμόρφωση.

2) Η τρέχουσα διαμόρφωση του συστήματος δεν ικανοποιεί τους χρονικούς περιορισμούς του επερχόμενου σεναρίου. Εφαρμόσετε μία νέα ρύθμιση συστήματος, η οποία σέβεται τους χρονικούς περιορισμούς με το ελάχιστο κόστος ενέργειας. Μια τέτοια κατάσταση θα πρέπει να ανιχνευθεί προληπτικά, έτσι ώστε η εναλλαγή να γίνει έγκαιρα χωρίς να παραβιαστεί κάποιο deadline.

Έτσι, για την εκτέλεση του αλγορίθμου εναλλαγής, πρέπει να λάβουμε υπόψη τις δύο αυτές καταστάσεις. Είναι προφανές σε μία τέτοια υλοποίηση χρειαζόμαστε ένα πλήρη χαρακτηρισμό των σεναρίων συστήματος για κάθε πιθανή διαμόρφωση. Για το λόγο αυτό, κατασκευάζουμε, κατά τη σχεδίαση, ένα πίνακα με όλα τα σενάρια συστήματος και τα αντίστοιχα κόστη για κάθε διαμόρφωση. Στον Πίνακα 2, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα με 5 σενάρια συστήματος και 5 διαμορφώσεις συστήματος αντιστοίχως. Κάθε σενάριο έχει μία βέλτιστη ενεργειακά διαμόρφωση, η οποία σέβεται τους χρονικούς περιορισμούς του σεναρίου. Η διαμόρφωση αυτή σημειώνεται με μπλε απόχρωση στη γραμμή του αντίστοιχου σεναρίου συστήματος. Για παράδειγμα, η βέλτιστη διαμόρφωση για το σενάριο Sc4 είναι η διαμόρφωση με C4 με χρόνο εκτέλεσης15μs και κατανάλωση ενέργειας 3,3 j.

	System Configurations									
System	C1		C2		C3		C4		C5	
Scenarios	TIME	ENERGY	TIME	ENERGY	TIME	ENERGY	TIME	ENERGY	TIME	ENERGY
Sc1	10μs	0,3 j	8μs	0,7 j	6μs	1,1j	5μs	1,8j	3μs	2,5j
Sc2	14μs	0,5 j	12μs	1,1 j	10μs	1,6j	9μs	2,3j	5μs	3,5j
Sc3	18μs	0,7 j	16μs	1,6 j	14μs	2,1j	12μs	2,8j	7μs	4,1j
Sc4	22μs	1 j	20μs	2 j	18μs	2,7j	15μs	3,3j	10μs	5j
Sc5	26μs	1,3 j	24μs	2,4 j	22μs	3,2j	20μs	4j	11μs	5,8j

Πίνακας 2.Μελέτη εργασίας-Πίνακας

Αν υποθέτουμε ότι έχουμε ένα παράγοντα χαλάρωσης του 5% στους χρονικούς περιορισμούς, πράγμα που σημαίνει ότι η αποδεκτή καθυστέρηση για ένα σενάριο του

συστήματος, είναι πέντε τοις εκατό του χρόνου εκτέλεσης για την βέλτιστη διαμόρφωση (για παράδειγμα σε Sc3 η αποδεκτή καθυστέρηση είναι 14 * 0, 05 = 0,7 μs) ο αλγόριθμος εναλλαγής θα υλοποιηθεί ως εξής (βλ. Εικόνα 16)

Switching Algorithm

```
 Sc=Detect _ Scenario(RTS) ;                  // Scenario identification  based on the detected
                                              //RTS
CC=Current _Configuration();                  //Current tuning of the system
OC=Optimal _ Configuration(Sc) ;              // Optimal configuration for the detected scenario
SO= Switching _Overhead(OC, CC) ;             // Added time overhead of the switching
IF((respect _  deadlines(SC, CC) );           // Condition if the current configuration respect
                                              //the deadlines of the incoming scenario
        IF frequency (Sc)                     //if frequency of the scenario Sc is high =true
                break;
        IF SO< 0,05 exec_time(Sc, OC)         // if switching overestimation respect the 5%
                                              //relaxation factor
                Switching (OC) ;              // switch the system at the OC
                break;
ELSEIF( SO< 0,05 exec_time(Sc, OC))
                Switching (OC) ;
                break;
 THEN
        Find _Conf(OC);                       //Find a more optimal configuration from the OC
```

Εικόνα 16. Αλγόριθμος Εναλλαγής

2.3 Συμβολή Διατριβής στην Μεθοδολογία

2.3.1 Ομαδοποίηση (Clustering), Ανίχνευση (Detection) & Εναλλαγή (Switching) – Βελτιστοποιήσεις και Συμβιβασμοί

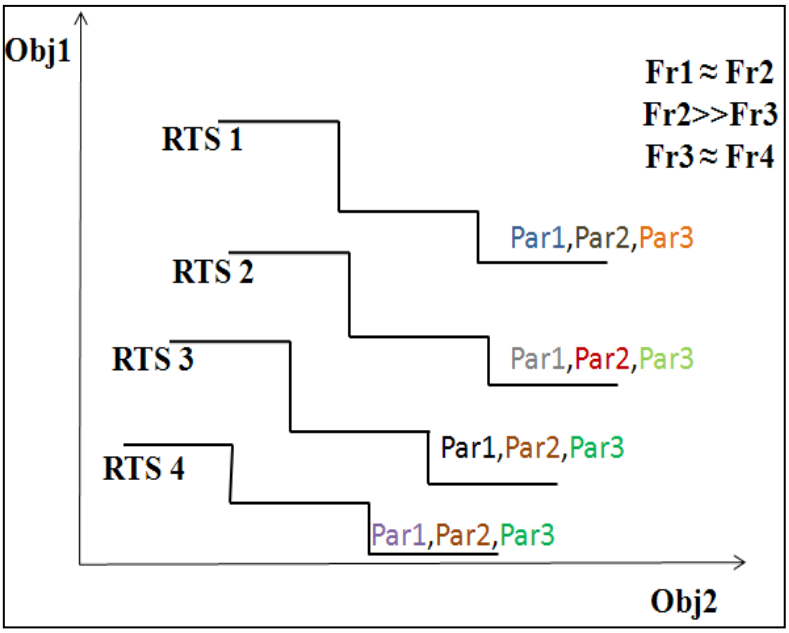
Η ομαδοποίηση (clustering) καθορίζει ποια RTSs θα συνθέσουν ένα σενάριο συστήματος γεγονός που επηρεάζει τα επόμενα βήματα της μεθοδολογίας. Κατά τη διάρκεια της ομαδοποίησης θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην ανίχνευση (detection) και την εναλλαγή (switching), διαφορετικά θα πρέπει να υλοποιηθεί ένας πολύ δαπανηρός αλγόριθμος ανίχνευσης και να χρειαστούν υψηλά κόστη διαμόρφωσης. Οπότε είναι σαφές ότι μεταξύ όλων αυτών των παραγόντων υπάρχει μία συσχέτιση. Πιο συγκεκριμένα διατηρώντας το κόστος ομαδοποίησης σε χαμηλά επίπεδα καταλήγουμε σε μεγάλο αριθμό σεναρίων συστήματος με μικρό αριθμό RTSs το οποίο αυξάνει όμως την επιβάρυνση του συστήματος σε εναλλαγές και την αντίστοιχη επιβάρυνση της πολυπλοκότητας ανίχνευσης. Για να αποφευχθεί αυτό θα πρέπει να εξεταστούν άλλες επιλογές ομαδοποίησης RTSs. Έτσι, επεκτείνουμε την προηγούμενη συνάρτηση κόστους (βλέπε εξίσωση 2) του βήματος ομαδοποίησης, συμπεριλαμβάνοντας την επίδρασης της ανίχνευσης και της εναλλαγής. Οι πολιτικές που ακολουθούνται πρέπει να στοχεύουν στην ολοκληρωμένη βελτιστοποίηση και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του συστήματος. Αν ορίσουμε ως SO το κόστος ρύθμισης από την εναλλαγή στην διαμόρφωση του συστήματος μεταξύ δύο σεναρίων, Fs την συχνότητα εμφάνισης του σεναρίου και DO το κόστος ανίχνευσης του σεναρίου ανά εμφάνιση RTS, η εξίσωση 2 θα πάρει την ακόλουθη μορφή:

$$TO = \sum_{i=0}^{n} F_{RTS(i)} CO_{RTS(i)} + \sum_{i=0}^{n} F_{RTS(i)} DO_{RTS(i)} + \sum_{j=0}^{n} F_{S(j)} SO_{Sen(j \to j+1)} \quad (5)$$

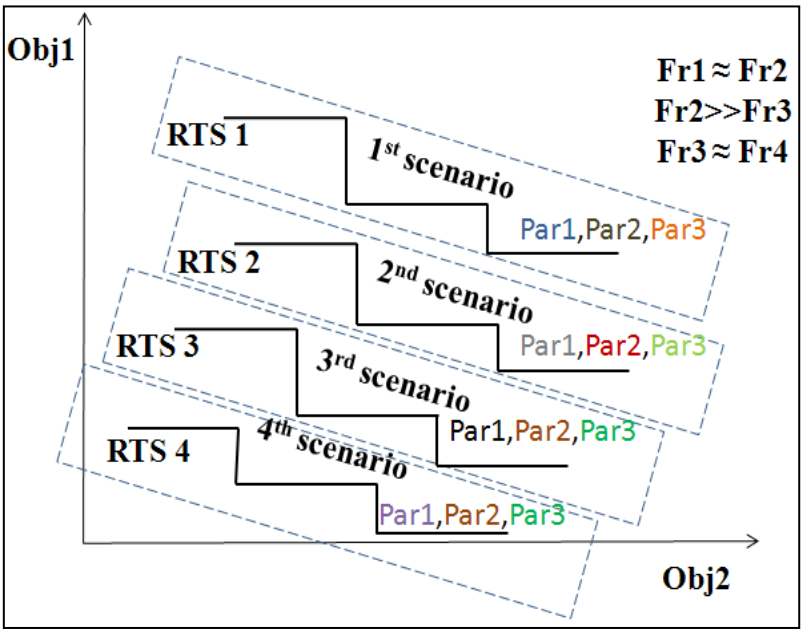
$$TO = \sum_{i=0}^{n} F_{RTS(i)} (CO_{RTSI(i)} + DO_{RTS(i)} + \sum_{j=0}^{n} F_{S(j)} SO_{Sen(j \to j+1)} \quad (6)$$

TO: Total Overhead, CO: Clustering Overhead per RTS, DO: Detection Overhead per RTS, SO: Tuning cost for switching from scenario j to the next scenario j+1, F_{RTS}: Frequency of the RTS appearance, F_S: Frequency of the System Scenario appearance.

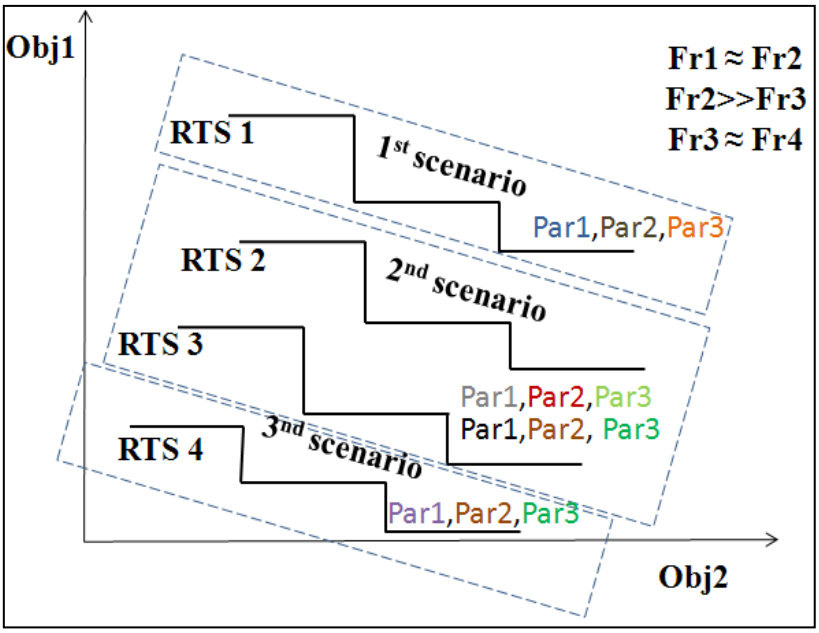
Ένας καλός κανόνας για ομαδοποίηση με ελάχιστη επιβάρυνση σε clustering και switching είναι ο εξής: τα υψηλού κόστους RTSs (Pareto καμπύλη ψηλά στο διάγραμμα) με μεγάλη συχνότητα ομαδοποιούνται με χαμηλότερου κόστους RTSs με μικρότερη συχνότητα εμφάνισης. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται τα υψηλά overhead ομαδοποίησης εξαιτίας της συχνής εμφάνισης RTSs που έχουν μεγάλη απόσταση από την καμπύλη κόστους που χαρακτηρίζει το σενάριο που ανήκουν. Έτσι, προτιμάμε τα συχνά εμφανιζόμενα RTS σε ένα σενάριο συστήματος να βρίσκονται κοντά σε αυτήν την καμπύλη, βλέπε εικόνα19.



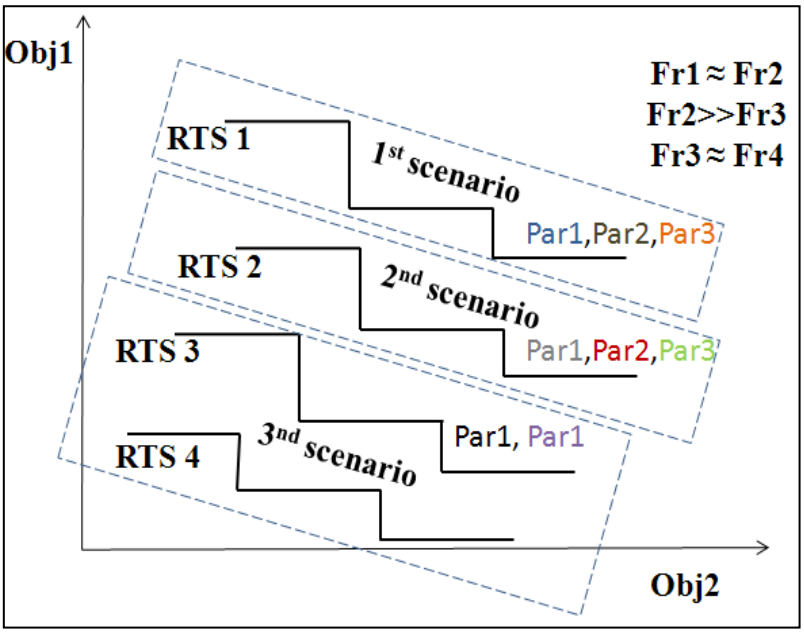
Εικόνα 17. Τέσσερα RTSes με 3 RTS παραμέτρους



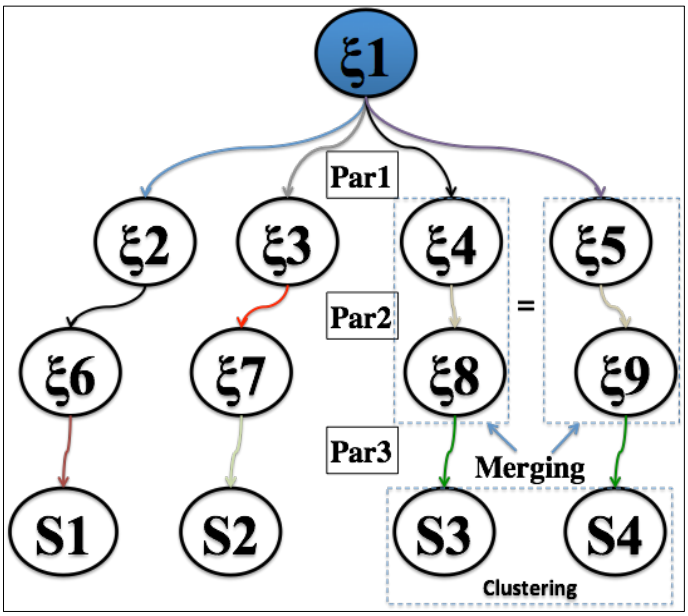
Εικόνα 18. Ομαδοποίηση (Ελάχιστο Overhead Ομαδοποίηση)



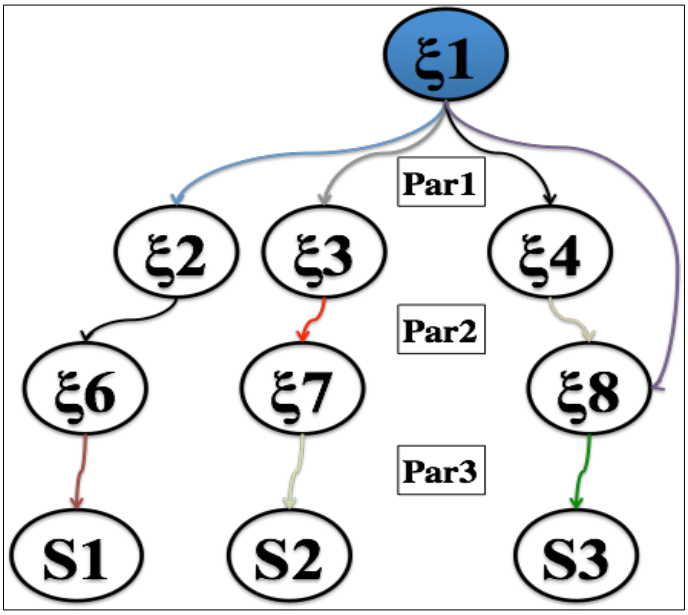
Εικόνα 19. Ομαδοποίηση (Ελάχιστο Overhead Εναλλαγής)



Εικόνα 20. Ομαδοποίηση (Ελάχιστο Overhead Ανίχνευσης)



Εικόνα 21. Ανίχνευση (Ελάχιστο Overhead Ομαδοποίηση)



Εικόνα 22. Ανίχνευση (Ελάχιστο Overhead Ανίχνευσης)

Μία άλλη πιθανή προτεραιότητα βελτιστοποίησης είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους ανίχνευσης, αντί ομαδοποίησης. Σε αυτή την περίπτωση, θέλουμε να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των RTS παραμέτρων και οι τιμές τους, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη για την ανίχνευση ενός σεναρίου συστήματος. Στο παράδειγμά μας, έχουμε τέσσερα RTSs (με τέσσερις διαδρομές ανίχνευσης) και τρεις τιμές ανά παράμετρο για κάθε RTS. Έτσι θα έχουμε συνολικά δώδεκα ακμές για την υλοποίηση του γραφήματος ανίχνευσης, βλέπε εικόνα 21. Για να ελαχιστοποιηθούν ψάχνουμε ομοιότητες μεταξύ των παραμέτρων των RTSs.Έτσι βλέπουμε ότι το RTS3 και RTS4 διαφέρουν μόνο σε μία παράμετρο την (Par1)

και οι τιμές της παραμέτρου αυτής γι αυτά τα RTSs διαφέρουν από τα υπόλοιπα, βλέπε Εικόνα 21. Έτσι, μπορούμε να συγχωνεύσουμε τους ενδιάμεσους κόμβους ανίχνευσης του RTS3 και RTS4 σε μία ακμή που καταλήγει σε ένα σενάριο το οποίο μπορεί να ανιχνευθεί μόνο με την τιμή της Par1 με αποτέλεσμα την μείωση των ακμών στο διάγραμμα ανίχνευσης από 12 σε 8, βλέπε Εικόνα 22. Τα Sc3 και Sc4 στην Εικόνα 22 μπορούν να ομαδοποιηθούν σε ένα σενάριο συστήματος (σενάριο 3, Εικόνα 20), το οποίο ανιχνεύεται άμεσα από την τιμή της par1. Αλλά αυτό δεν είναι η πιο αποδοτική λύση από άποψη υλοποίησης εναλλαγής και ομαδοποίησης σε σύγκριση με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

Είναι φανερό ότι οι αποφάσεις για βελτιστοποίηση του ενός τύπου overhead συγκρούεται με τους άλλους, βλ. Εικόνες 19 & 20. Για να επιτευχθεί μια συμβιβαστική προσέγγιση μεταξύ ομαδοποίηση, εναλλαγής και ανίχνευσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη: 1) αποστάσεις ανάμεσα στις Pareto καμπύλες κάθε RTS, 2) η συχνότητα εναλλαγής των σεναρίων συστήματος, 3) ο αριθμός και 4) οι τιμές των RTS παραμέτρων. Σχετικά με τις δύο πρώτες παραμέτρους θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι είναι τα συχνής εμφάνισης υψηλού κόστους RTSs ομαδοποιούνται με χαμηλού κόστους χαμηλής συχνότητας εμφάνισης RTSs. Ο κανόνας αυτός εξισορροπεί το overhead μεταξύ ομαδοποίηση και εναλλαγής. Οι τιμές των παραμέτρων RTS πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το «κλάδεμα» του γραφήματος ανίχνευσης, βλέπε Εικόνα 22. Αλλά αυτή η τεχνική μπορεί να επηρεάσει το overhead ομαδοποίησης. Οι αλγόριθμοι που εφαρμόζουν με ευρηματικούς τρόπους την διαχείριση του overhead λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω μπορεί να επιτύχουν αποτελεσματικούς συμβιβασμούς. Στην επόμενη παράγραφο, προτείνουμε μετασχηματισμούς στα γραφήματα ανίχνευσης, οι οποίοι μπορεί να επιτύχουν περαιτέρω βελτιστοποιήσεις μεταξύ τους.

2.3.2 Μετασχηματισμοί στο Διάγραμμα Ανίχνευσης

Το overhead ανίχνευσης συσχετίζεται άμεσα με την πολυπλοκότητα και την έκταση του γραφήματος απόφασης που υλοποιεί την ανίχνευσης. Αν η πολυπλοκότητα είναι υψηλή, οι εντολές υλοποίησης του γραφήματος δεσμεύουν σημαντικό μέρος της μνήμης και των κύκλων εκτέλεσης κατά την ανίχνευση των σεναρίων. Επιπλέον η έκταση του γράφου αυξάνει τις απαιτούμενες πράξεις για την ανίχνευση οποιαδήποτε σεναρίου. Για να περιοριστεί αυτή η επιβάρυνση θα εφαρμόσουμε μετασχηματισμούς που απλοποιούν τα γραφήματα ανίχνευσης που επηρεάζουν όμως και την ομαδοποίηση των RTSs, οπότε πιθανές αλλαγές θα έχουν αντίκτυπο και στο clustering overhead. Στη βιβλιογραφία, μπορούμε να βρούμε ήδη βελτιστοποιήσεις γραφημάτων ανίχνευσης όπως εδώ (Gheorghita et al [55]) όπου οι συγγραφείς προτείνουν μετασχηματισμούς που βασίζονται στις ομοιότητες μεταξύ των κόμβων και των εξερχόμενων ακμών ώστε να μειωθεί το overhead ανίχνευσης. Ωστόσο, δεν εξετάζουν την συσχέτιση μεταξύ του overhead ομαδοποίησης, εναλλαγής και ανίχνευση. Επίσης χρησιμοποιούν, πρόβλεψη αντί της ανίχνευσης των RTS για να προσδιορίσουν τα επερχόμενα σενάρια και οι μετασχηματισμοί τους έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα αυτής της πρόβλεψης. Η προσέγγισή μας αντιμετωπίζει όχι μόνο την πολυπλοκότητα των γραφημάτων απόφασης, αλλά και τις επιπτώσεις των προτεινόμενων μετασχηματισμών στην διαδικασία ομαδοποίησης και εναλλαγής. Τα βήματα βελτιστοποίησης είναι στοχευμένα και με σαφή αποτελέσματα. Περιλαμβάνουν συγχώνευση ακμών στα γραφήματα και παρακάμψεις κόμβων όπου χρειάζεται. Για να

εφαρμοστούν αυτά τα βήματα, πρέπει πρώτα να είναι σαφής οι επιπτώσεις τους. Κάθε κόμβος αντιστοιχεί σε μια παράμετρο RTS και κάθε ακμή με μία τιμή αυτής της παραμέτρου. Η συγχώνευση των εξερχόμενων ακμών ενός κόμβου σημαίνει ότι ομαδοποιούνται στο ίδιο σενάριο RTSs με διαφορετικές τιμές για αυτήν την παράμετρο.

Παρακάμπτοντας έναν κόμβο είναι σαν να συγχωνεύονται όλες οι εξερχόμενες ακμές του κόμβου. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι πιθανές τιμές της παραμέτρου οδηγούν στο ίδιο σενάριο συστήματος, έτσι δεν χρειάζεται να εξεταστεί καθόλου η τιμή αυτής της παραμέτρου. Οι δράσεις αυτές μπορούν να επηρεάσουν την ομαδοποίηση των RTS σε σενάρια και να μεταβάλλουν το overhead ομαδοποίησης. Γι αυτό και χρειάζεται στοχευμένη εφαρμογή αυτών των μετασχηματισμών. Το κριτήριο που χρησιμοποιείται είναι η επίδραση της παραμέτρου RTS στην μεταβολή του κόστους. Η διακύμανση του κόστους από τις αλλαγές στις τιμές των παραμέτρων αποτελεί το μέτρο για την ιεράρχηση των προτεραιοτήτων στην επιλογή των κόμβων του γραφήματος ανίχνευσης για εφαρμογή μετασχηματισμών. Παράμετροι με μικρό αντίκτυπο θα επηρεάσουν ελάχιστα το overhead ομαδοποίησης έτσι οι αντίστοιχοι κόμβοι τους προτιμούνται με υψηλότερη προτεραιότητα από τους άλλους για εφαρμογή μετασχηματισμών. Η εξίσωση που δίνει τον ορισμό του overhead ομαδοποίησης σε σχέση με τη διακύμανση κόστους είναι η ακόλουθη:

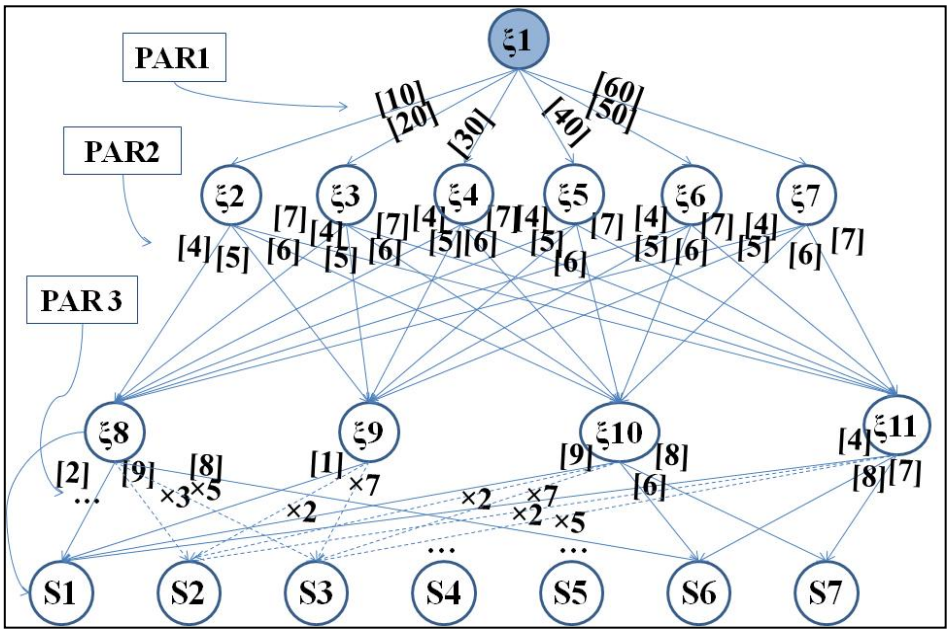
$$CO = \sum_{i=0}^{n} (F_{par(n)} \times Fl_{av(n)}) N_{(n)} \quad (7)$$

Fl_{av}: μέσο κόστος διακύμανσης ανά σενάριο, F_{par}: συχνότητα εναλλαγής των τιμών μεταβλητής, N: αριθμός RTS παραμέτρων, n: id σεναρίου.

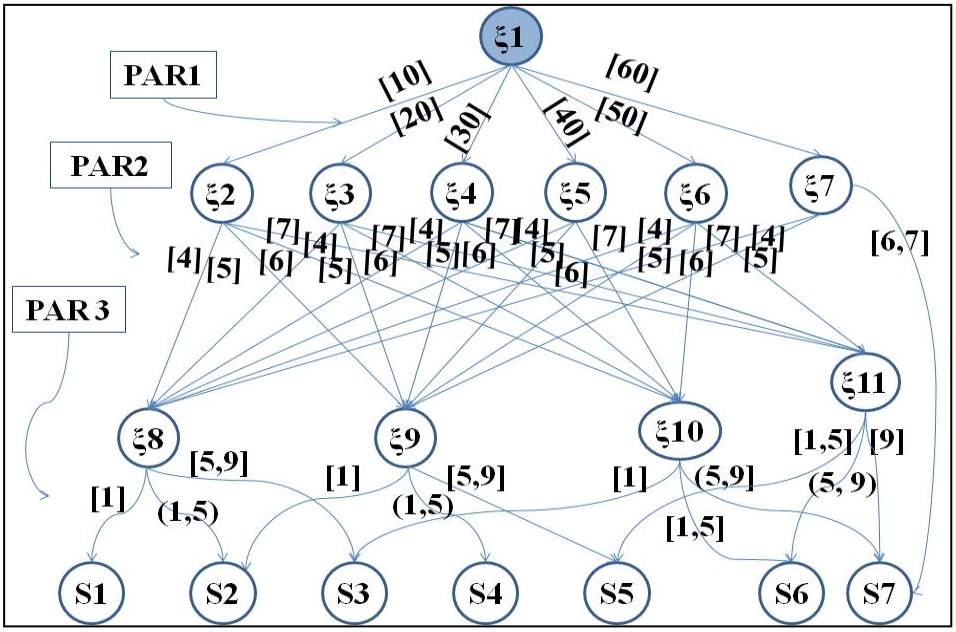
Το clustering overhead (CO) είναι ανάλογο με το κόστος διακύμανσης. Αν η επίδραση συγκεκριμένης παραμέτρου είναι σημαντική (Flav) και οι τιμές της μεταβάλλονται συχνά (Fpar) το overhead ομαδοποίησης θα αυξηθεί οπότε αποφεύγουμε τους μετασχηματισμούς στους αντίστοιχους κόμβους. Αντίθετα η επίδραση μίας παραμέτρου είναι μικρή και οι εναλλαγές στις τιμές της είναι σπάνιες το overhead ομαδοποίησης θα είναι χαμηλό και προτιμάται μεγάλη προτεραιότητα. Στην περίπτωση, που η επίδραση της παραμέτρου RTS είναι ασήμαντη μπορούμε ακόμη και να την αγνοήσουμε παρακάμπτοντας εντελώς τους αντίστοιχους κόμβους. Έτσι μπορούμε να ιεραρχήσουμε τις περιοχές του γραφήματος ανίχνευσης ξεκινώντας από εκείνες με την χαμηλότερη επίδραση προς εκείνες με την υψηλότερη εφαρμόζοντας παράλληλα τους προτεινόμενους μετασχηματισμούς. Ως εκ τούτου, το γράφημα ανίχνευσης «κλαδεύεται» προσθέτοντας το ελάχιστο δυνατό overhead ομαδοποίησης ενώ το overhead εναλλαγής μειώνοντας των αριθμό των κόμβων και των ακμών του γραφήματος.

Η Εικόνα 23 απεικονίζει το αρχικό γράφημα ανίχνευσης με τρεις παραμέτρους (Par1, Par2, Par3). Αν υποθέσουμε ότι η Par1 έχει την υψηλότερη διακύμανση κόστους με πιο συχνές αλλαγές στις τιμές της και η PAR3 έχει την χαμηλότερη διακύμανση κόστους με σπάνιες αλλαγές στις τιμές της θα προτιμηθούν να συγχωνευθούν οι ακμές στους κόμβους ξ8, ξ9, ξ10, ξ11, που αντιστοιχούν στην PAR3. Επιπλέον, οι τιμές της PAR3 κυμαίνονται από 1 έως 9 με πιο συχνές τιμές 1, 5, 9. Έτσι, μπορούμε να ομαδοποιήσουμε τις τιμές μεταξύ 1 και 5 και τις τιμές μεταξύ 5 και 9, χωρίς μεγάλες επιπτώσεις στο overhead ομαδοποίησης με αποτέλεσμα από εννιά ακμές να καταλήγουμε σε 5. Επιπλέον, γνωρίζουμε ότι όταν η Par1 είναι ίση με 60, η Par2 παίρνει σπάνια τιμές 6 και 7, έτσι τα μονοπάτια διάσχισης του γραφήματος που χρησιμοποιούν αυτές τις ακμές μπορούν να απλοποιηθούν συγχωνεύοντας τες (βλ. Εικόνα 24 ακμή [6,7] κόμβος ξ7). Επίσης

παρακάμπτοντας κόμβους με χαμηλή επίδραση (βλέπε σχήμα 24, ο κόμβος ξ11) δεν έχουμε σημαντική αύξηση στο συνολικό overhead.



Εικόνα 23. Γράφημα Ανίχνευσης χωρίς Μετασχηματισμούς



Εικόνα 24. Γράφημα Ανίχνευσης με Μετασχηματισμούς

3. Εξερεύνηση SDR Αρχιτεκτονικής Σε NoC Περιβάλλον Προσομοίωσης

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε ένα ευέλικτο σε επίπεδο συστήματος μοντέλο προσομοίωσης SDR, υλοποιημένο σε μία Network-on-Chip (NOC) αρχιτεκτονική, επιτρέποντας την ακριβή μοντελοποίηση και εξερεύνηση μίας SDR πλατφόρμας. Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να χαρακτηρίσει, από άποψη κόστους, την συμπεριφορά μιας πλατφόρμας SDR σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού. Οι προδιαγραφές της πλατφόρμα υλοποιούνται σε μια εικονική αρχιτεκτονική προσομοίωσης που περιγράφεται σε SystemC και περιλαμβάνει μια σειρά από παραμέτρους διαμόρφωσης. Το κλειδί στην προσέγγισή μας είναι ότι το περιβάλλον προσομοίωση, μας παρέχει αυτόματα εργαλεία που είναι σε θέση να διερευνήσουν τις παραμέτρους της SDR πλατφόρμας και ταυτόχρονα να προωθούν την κίνηση διασύνδεσης σε ένα εργαλείο που ερευνά τον αντίκτυπο χρήσης διαφορετικών τοπολογιών. Ο κύριος στόχος είναι η μείωση της απαιτούμενης προσπάθειας σχεδίασης, η οποία χρειάζεται για τον καθορισμό των καταστάσεων στις οποίες ένας διαχειριστής πόρων SDR θα πρέπει να λάβει υπόψη του.

3.1 Εισαγωγή

Η επιτυχής διαχείριση της πολυπλοκότητας σχεδιασμού των ενσωματωμένων ασύρματων συστημάτων προϋποθέτει ευέλικτες μεθόδους. Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί πολλά εργαλεία τα οποία συνδυάζουν σχεδίαση υλικού και λογισμικού (όπως το CoCentric Studio [62], Matlab/Simulink, Metropolis [63], και Chinook [64]). Το πρόγραμμα POLIS [65] παρέχει ένα εργαλείο σύνθεσης υλικού-λογισμικού για το σχεδιασμό και τη σύνθεση ενσωματωμένων μικρο-ελεγκτών. Επιπλέον, η γλώσσα περιγραφής UML έχει αναδειχθεί ως de facto πρότυπο για τα συστήματα προσομοίωσης λογισμικού, και ειδικά UML προφίλ έχουν αναπτυχθεί για πραγματικού χρόνου ενσωματωμένα συστήματα [66]. Η πρότασή μας αποσκοπεί στη μοντελοποίηση ενσωματωμένων συστημάτων SDR εφαρμογών κατά την πρώιμη φάση σχεδιασμού για το πολυδιάστατο χαρακτηρισμό των «συστατικών» ενός SDR συστήματος. Έχει αποδειχθεί ότι σε πραγματικό χρόνο διαχείριση πόρων μπορεί να μειώσει τα αιτήματα για πόρους χωρίς να επηρεάσει σημαντικά την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσιών (QoS)[59].

Έτσι, τα εν λόγω περιβάλλοντα μας παρέχουν χρήσιμα μοντέλα και επεκτάσεις, οι οποίες είναι σημαντικές για την ολοκλήρωση των εργαλείων μας, Ένα χαρακτηριστικό on-chip περιβάλλον προσομοίωσης που εστιάζει σε θέματα επικοινωνίας είναι το WormSim [57]. Ένα άλλο παράδειγμα, που περιλαμβάνεται ως συστατικό στο προτεινόμενο περιβάλλον προσομοίωσης, είναι το Nostrum [76] που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ακριβές NoC μοντέλου υπολογισμού των κύκλων λειτουργίας. Στόχος του παρόν κεφαλαίου, είναι να επιτευχθεί μια γρήγορη ροή σχεδιασμού προσομοίωσης μίας SDR πλατφόρμας με ακριβής εκτίμηση της απόδοσης σε σχεδιαστικό χρόνο.

Η κύρια συνεισφορά αυτής της προσέγγισης είναι η ολοκλήρωση SDR μοντέλων σε ένα ενιαίο περιβάλλον προσομοίωσης βασισμένο σε μια NoC αρχιτεκτονική. Πιο

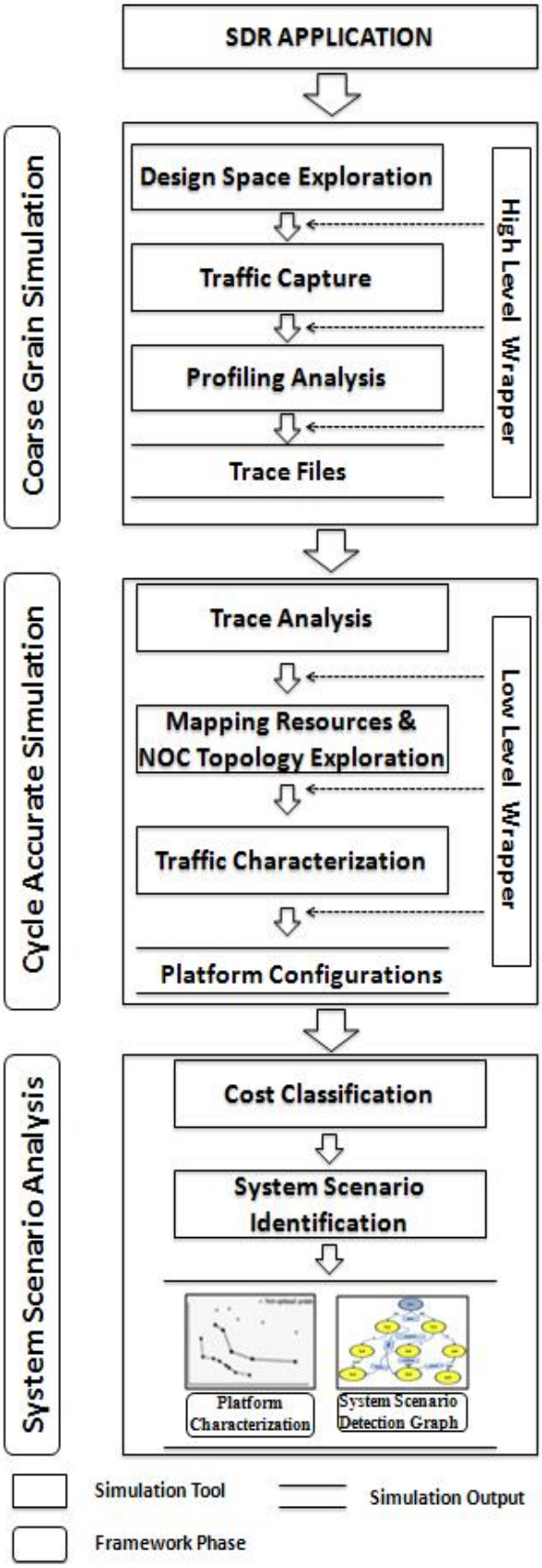
συγκεκριμένα, περιλαμβάνει την ανάπτυξη δύο wrappers που προσφέρουν αυτοματοποίηση της όλης διαδικασία και αξιολόγησης των διαφορετικών διαμορφώσεων των SDR πλατφορμών. Πιο συγκεκριμένα ο πρώτος wrapper αυτοματοποιεί τη διερεύνηση των παραμέτρων σχεδιασμού της πλατφόρμα ενώ ο δεύτερος εξάγει την κίνηση των δεδομένων και υλοποιεί την αυτόματη μεταφορά τους σε μία NoC αρχιτεκτονική. Το κυρίως πλεονέκτημα ο ρεαλιστικός χαρακτηρισμός μίας πλατφόρμας σε μια πριν την τελική υλοποίηση φάση.

3.2 Ροή Προσομοίωσης

Ο προσομοιωτής που παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες είναι ένα ακριβές από άποψη υπολογισμού κύκλων περιβάλλον προσομοίωσης, που έχει αναπτυχθεί για την εξερεύνηση μίας πλατφόρμας SDR σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού. Το λογισμικό προσομοίωσης επιτρέπει την εξερεύνηση της πλατφόρμα και τη λήψη αποφάσεων στην διαχείριση των πόρων παρέχοντας ρεαλιστικά δεδομένα εισόδου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Τα επίπεδα που συνθέτουν τη ροή προσομοίωση φαίνονται στην Εικόνα 26. Η βασική υλοποίηση χωρίζεται σε δύο επίπεδα (το υψηλό και το χαμηλό επίπεδο), που αντιπροσωπεύουν τους δύο wrappers, που είναι υπεύθυνοι για την αυτόματη και συνεχή εκτέλεση της εφαρμογής και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Ο υψηλού επιπέδου wrappers υλοποιεί την αυτόματη διερεύνηση των παραμέτρων πλατφόρμας και την αυτόματη εκτέλεση. Η coarse-grain SDR πλατφόρμας μας επιτρέπει να ρυθμίζονται μια σειρά παραμέτρων (π.χ. τον αριθμό και την συχνότητα λειτουργίας των στοιχείων επεξεργασίας, την συχνότητα του διαύλου επικοινωνίας, τον αριθμό των κεραιών, την διαμόρφωση του σήματος). Αυτές οι παράμετροι δημιουργούν ένα μεγάλο χώρο σχεδιασμού που απαιτούν τεράστια προσπάθεια από τον σχεδιαστή για να υλοποιηθεί χειροκίνητα. Για κάθε συνδυασμό παραμέτρων ο wrapper υψηλού επιπέδου είναι υπεύθυνος, σε συνεργασία με ένα εργαλείο προφίλ, να ανιχνεύει την κίνηση και να την μεταφέρει στο cycle-accurate NoC επίπεδο. Εκεί ένας δεύτερος wrapper χαμηλού επιπέδου είναι υπεύθυνος για την ανάλυση των διαστάσεων κίνησης κατά το χρόνο εκτέλεσης, συνθέτοντας τους πόρους της πλατφόρμας (με βάση τις παραμέτρους SDR της συγκεκριμένης διαμόρφωσης) και χαρτογραφώντας τους πάνω στο NOC.

Η χαρτογράφηση υλοποιείται χρησιμοποιώντας ένα bandwidth-constrained αλγόριθμο [70]. Επιπλέον, ο χαμηλού επιπέδου wrapper είναι υπεύθυνος να ρυθμίσει την NoC τοπολογία και να εξάγει τα αποτελέσματα προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης περιλαμβάνουν κάθε δυνατή διαμόρφωση της πλατφόρμας με το αντίστοιχο χαρακτηρισμό πόρων. Όλες οι διαμορφώσεις δεν είναι αποδοτικά αξιοποιήσιμες και επιλέγονται βάση της μεθοδολογίας σεναρίων συστήματος οι βέλτιστες ώστε να χρησιμοποιηθούν κατά το χρόνο εκτέλεσης.



Εικόνα 25. Ροή Προσομοίωσης

3.3 Περιβάλλον Προσομοίωσης

Όπως έχουμε αναφερθεί προηγουμένως το περιβάλλον προσομοίωσης συντίθενται από δύο επίπεδα. Ο στόχος είναι να εξαχθούν με ένα αυτόματο τρόπο οι διαστάσεις κόστους μιας SDR πλατφόρμας σε πρώιμο χρόνο σχεδίασης αξιοποιώντας την ευελιξία ενός πλήρους ρυθμιζόμενου περιβάλλοντος προσομοίωσης. Ο υψηλού επιπέδου προσομοιωτής υλοποιεί τα στιγμιότυπα των τερματικών SDR και τις υπηρεσίες εξυπηρέτησης μέσω ενός εικονικού διακομιστή. Σε αυτό το επίπεδο μπορούν να διερευνηθούν συγκεκριμένα συστήματα επικοινωνίας που χαρακτηρίζουν την τεχνολογία SDR. Η κίνηση των SDR τερματικών συλλαμβάνεται και προσομοιώνεται σε ένα NOC προσομοιωτή. Ο σκοπός είναι να εκτιμηθεί η απόδοση ενός υποθετικού SDR τερματικού για διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας και διαμορφώσεις σε μια cycle accurate βάση. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι το υψηλό επίπεδο πραγματοποιεί τις SDR διεργασίες και το χαμηλό τις χαρακτηρίζει από άποψη κόστους διασύνδεσης. Στις επόμενες ενότητες, οι δύο επίπεδα προσομοίωσης παρουσιάζονται λεπτομερώς.

3.3.1 Υψηλό Επίπεδο Προσομοίωσης

Το υψηλό επίπεδο προσομοίωσης είναι μια εξέλιξη ενός μοντέλου επίπεδο συναλλαγών (TLM), το οποίο χρησιμοποιείται για τη δοκιμή της λειτουργικότητας ενός μόνο ασύρματου τερματικού. Ο νέος προσομοιωτής είναι σε θέση να υποστηρίξει πολλαπλή επικοινωνία με διαφορετικά ασύρματα τερματικά, με ανταλλαγή Medium Access Control (MAC) πλαισίων [72] [73]. Η ακρίβεια προσομοίωσης δεν είναι τόσο υψηλή όσο του TLM αλλά είναι πολύ πιο γρήγορη. Η προσομοίωση εφαρμόζεται σε επίπεδο server/client που επιτρέπει σε διαφορετικούς πελάτες τερματικών να συνδέονται με το διακομιστή. Κάθε πελάτης τερματικού περιέχει μοντέλα υλικού και μια γεννήτρια, η οποία δημιουργεί και καταναλώνει δεδομένα για τις ασύρματες υπηρεσίες. Ο διακομιστής προσομοιωτής δεν είναι ένα σημείο πρόσβασης αλλά πραγματοποιεί μόνο μια εικονική διεπαφή μεταξύ των τερματικών.

Ο κώδικας υλοποίησης ακολουθεί μια συγκεκριμένη δομή στην οποία υπάρχει ένα σύνολο από ρουτίνες αρχικοποίησης και ρουτίνες εξυπηρέτησης διακοπών. Όταν αυτές εκτελεστούν οδηγούν το σύστημα (υλικό και λογισμικό) σε μια αρχική κατάσταση τοποθετώντας τα στοιχεία επεξεργασίας σε κατάσταση αναμονής περιμένοντας μία διακοπή υλικού. Όταν ενεργοποιηθούν οι διακοπές αλλάζουν την κατάσταση του συστήματος επαναπρογραμματίζοντας τους accelerators και τα DSPs. Η προσομοίωση λειτουργεί σε event driven βάση με τις ρουτίνες αρχικοποίησης και με την εκτέλεση των callback ρουτινών που ενεργοποιούν τα μοντέλα υλικού. Ο διακομιστής ανοίγει ένα socket δικτύου και αρχίζει να «ακούει» τους τερματικούς σταθμούς κλήσεις.

3.3.1.1 Περιγραφή Λειτουγίας

Ο πυρήνας του framework προσομοιωτή είναι ο XL-MAC Simulator Server (XMSS) που προσομοιώνει τα χρονικά διαστήματα και το εύρος ζώνης (bandwidth) που χρησιμοποιούν τα τερματικά. Ο κεντρικός διακομιστής παρέχει επίσης έναν log reflector που παρέχει την δυνατότητα συλλογής των στοιχείων προσομοίωσης από όλους τους συνδεδεμένους τερματικούς πελάτες. Ο κεντρικός server προσομοίωσης ανοίγει ένα socket δικτύου χρησιμοποιώντας πρωτόκολλο TCP/IP και αρχίζει να λαμβάνει τα αιτήματα διεργασιών των τερματικών πελατών, καθιστώντας το δίκτυο προσομοίωσης διαφανές. Οι πελάτες αντιπροσωπεύουν τα ασύρματα τερματικά που βρίσκονται στο κατανεμημένο εύρος ζώνης. Κάθε συνδεδεμένο τερματικό μπορεί να εκτελέσει την δική του XL-MAC υλοποίηση με συγχρονισμό με το ρολόι προσομοίωσης και όλους τους άλλους συνδεδεμένους τερματικούς πελάτες. Ένας ή περισσότεροι πελάτες μπορούν να αρχίσουν να στέλνουν στοιχεία μέσω του κεντρικού server σε άλλους τερματικούς πελάτες που είναι σε διαμόρφωση λήψης. Νέοι πελάτες μπορούν να εισαχθούν ενώ κάθε προσομοίωση ξεκινάει με την έναρξη μιας νέας διεργασίας τερματικού καθιστώντας το framework δυναμικό

3.3.1.1.1 Εικονικός Διακομιστής

Με μια προσεκτικότερη ματιά στην επικοινωνία των ασύρματων τερματικών, κάποιος μπορεί να παρατηρήσει ότι όλα μοιράζονται το ίδιο εύρος ζώνης και τον ίδιο χρονισμό. Χρονισμός σημαίνει ότι ο χρόνος για όλα τα τερματικά παρέρχεται με την ίδια ταχύτητα. Όταν όλα τα τερματικά αρχικοποιούνται από ένα χρονόμετρο χρησιμοποιώντας συγχρόνως την ίδια διάρκεια, αυτά τα χρονόμετρα λήγουν συγχρόνως μέσα στα όρια της κλίσης ρολογιών των τερματικών. Αυτό φαίνεται πολύ προφανές αλλά κατά την υλοποίηση ενός προσομοιωτή πρέπει να ληφθεί υπόψη. Οι ασύρματες συσκευές μοιράζονται το ίδιο εύρος ζώνης αυτό σημαίνει πως όλες οι συσκευές συντονίζονται στην ίδια μπάντα λειτουργίας. Δύο αναμεταδότες που αναμεταδίδουν στην ίδια περιοχή συχνοτήτων το ίδιο χρονικό διάστημα παρεμβάλουν ο ένας τον άλλο και τα αποτέλεσμα της σύγκρουσης εμφανίζονται σαν σφάλμα σε όλους τους τερματικούς παραλήπτες. Για να αποφεύγονται τέτοιου είδους προβλήματα η υλοποίηση της κατανομής του εύρους συχνοτήτων ανά τερματικό και του χρονισμού γίνεται από τον κεντρικό server. Αυτός ο server επεκτείνεται με έναν log reflector, ένα εργαλείο που συλλέγει όλες τις πληροφορίες προσομοίωσης όλων των συνδεδεμένων τερματικών προωθώντας τα σε ένα ή περισσότερα logger εργαλεία.

3.3.1.1.1.1 Μοντέλο Χρόνου

Τα χρονικά διαστήματα διαμορφώνονται από έναν ενιαίο κεντρικό χρονικό μετρητή μέσα στον server που μοιράζεται σε όλους τους συνδεδεμένους τερματικούς πελάτες. Αυτός ο κεντρικός χρονικός μετρητής, αποκαλείται ρολόι προσομοίωσης, μετρά τους παρερχόμενους χρονικούς κύκλους (time ticks) προσομοίωσης. Ο χρονικός κύκλος (tt) είναι η μονάδα χρόνου που χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της προσομοίωσης. Όλα τα μοντέλα υλικού μέσα στο simulator framework πρέπει να συμφωνούν ως προς την διάρκεια ενός tt. Στην περίπτωση της παρούσας υλοποίησης, όλα τα μοντέλα συμφωνούν σε ένα προκαθορισμένο tt 100ns. Αυτό σημαίνει πως το χρονικό granularity προσομοίωσης είναι 100ns.

Όπως αναφέρθηκε πριν, μια προσομοιωμένη εφαρμογή πρέπει να αρχικοποιήσει τα μοντέλα υλικού και να βρίσκεται σε αναμονή περιμένοντας να συμβεί κάποιο συμβάν στο υλικό. Τα μοντέλα υλικού πρέπει να είναι σε θέση να εκχωρούν συμβάντα όταν αρχικοποιούνται. Όλα αυτά τα συμβάντα αποθηκεύονται μέσα στον server σε έναν ενιαίο κεντρικό (global) κατάλογο συμβάντων που αποκαλείται time wheel. Όταν τα συμβάντα καταχωρούνται, πρέπει να διευκρινιστούν η διάρκεια και η λειτουργία για το καθένα. Η διάρκεια ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του χρόνου λήξης και του χρόνου εγγραφής ενός γεγονότος και εκφράζεται σε time ticksς. Όταν ένα γεγονός εκπνεύσει, η αντίστοιχη λειτουργία εκτελείται. Ενώ οι ενέργειες εκτελούνται ταυτόχρονα επιτρέπεται στα μοντέλα υλικού να καταχωρούν νέα συμβάντα ώστε να διατηρούν ενεργή την προσομοίωση. Όλα τα γεγονότα στη time wheel ταξινομούνται σύμφωνα με το χρόνο λήξης τους, αρχίζοντας από το γεγονός που λήγει πρώτο.

Ο διακομιστής προσομοίωσης στέλνει ένα μοναδικό κουπόνι στους τερματικούς πελάτες. Μόνο ο τερματικός πελάτης που λαμβάνει το κουπόνι μπορεί να εκτελέσει κάποια λειτουργία και όταν τελειώσει πρέπει να το επιστρέψει πίσω στον server έτσι ώστε να μπορεί να περάσει στον επόμενο πελάτη. Αρχικά κανένας τερματικός πελάτης δεν συνδέεται με τον server προσομοίωσης. Κατόπιν ο διακομιστής κρατάει το κουπόνι έως ότου γίνει μια σύνδεση. Στη φάση έναρξης ένα τερματικό θα συνδεθεί αρχικά με τον server και θα λάβει το κουπόνι. Το κουπόνι επιτρέπει στο τερματικό πελάτη να συνεχίσει την αρχικοποίηση και την καταχώριση των συμβάντων. Στο τέλος της αρχικοποίησης επιστρέφει το κουπόνι πίσω στον server προσομοίωσης.

Ενώ προχωράει η προσομοίωση ο διακομιστής προσομοίωσης θα αυξήσει το ρολόι προσομοίωσης στο χρόνο λήξης του συμβάντος τοποθετώντας τα πρώτα στο time wheel. Κατόπιν εκτελεί το συμβάν διαβιβάζοντας το κουπόνι στον τερματικό πελάτη έτσι ώστε μπορεί να εκτελέσει την αντίστοιχη λειτουργία και να επιστρέψει το κουπόνι. Στο τέλος ο server προσομοίωσης αφαιρεί το συμβάν από τη time wheel. Αυτό επαναλαμβάνεται έως ότου υποβληθούν σε επεξεργασία όλα τα συμβάντα της time wheel (που δεν θα συμβεί ποτέ στην περίπτωση της εφαρμογής XL-MAC επειδή τα νέα γεγονότα καταχωρούνται προτού η time wheel μείνει κενή).

3.3.1.1.1.2 Μοντέλο Εύρους Ζώνης

Το μοντέλο εύρους ζώνης (ether bandwidth model) που βρίσκεται επίσης στον κεντρικό server προσομοίωσης επιτρέπει στους συνδεδεμένους τερματικούς πελάτες να διαβιβάζουν και να λαμβάνουν σήματα ο ένας με τον άλλο. Το εύρος ζώνης διαιρείται σε 256 διαθέσιμες ζώνες συχνοτήτων που αποκαλούνται φέρον. Τα τερματικά που μπορούν να επικοινωνήσουν είναι αυτά που έχουν το ίδιο φέρον. Όταν δύο ή περισσότερα τερματικά διαβιβάζουν με το ίδιο φέρον στο ίδιο χρονικό διάστημα, προκαλείται σύγκρουση και τα τερματικά λαμβάνουν ένα στρεβλωμένο σήμα. Τα σήματα αντιπροσωπεύουν πακέτα και αποκαλούνται σήματα πακέτων για ένα δεδομένο μέγεθος. Όταν κάποια τερματικά λαμβάνουν το σήμα ενός διαβιβάζοντος τερματικού θα πάρουν ένα αντίγραφο του πακέτου σημάτων του. Η τρέχουσα εφαρμογή προσομοίωσης υποστηρίζει ένα plug σήμα τερματικού αποστολέα και ένα plug σήμα τερματικού δέκτη που και τα δύο είναι ανεξάρτητα επιτρέποντας στο τερματικό και να λαμβάνει και να διαβιβάζει σήμα.

Κατά την MIMO προσομοίωση των βασικών εφαρμογών πολλαπλά μοντέλα frontend πρέπει να συνδυάσουν τα εκπεμπόμενα σήματά τους με ένα διαθέσιμο plug σήμα πομπού. Στη λαμβάνουσα πλευρά, το μοναδικό διαθέσιμο λαμβάνον plug θα λάβει πολλαπλά σήματα τα οποία και θα διανείμει στα αντίστοιχα frontend μοντέλα. Όλα τα frontend μοντέλα στον προσομοιωτή πρέπει να συμφωνούν ως προς την διαμόρφωση των δεδομένων που χρησιμοποιούνται ως πακέτα σημάτων. (Το DFE μοντέλο, το μοντέλο frontend της XL-MAC εφαρμογής, διαμορφώνουν τα I/Q δείγματα ενός συμβόλου OFDM σαν σύμβολο - πακέτο). Εκτός από το σήμα-πακέτο, το μέγεθος των πακέτων και το διαβιβάζον φέρον του frontend μοντέλο καθορίσουν το χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να διαβιβαστεί. Όταν ο προκαθορισμένος χρόνος παρέρχεται, το frontend μοντέλο λαμβάνει ένα σήμα τέλους για το συμβάν μετάδοσης.

Το λαμβάνον frontend μοντέλο μπορεί να ενεργοποιήσει το plug λήψης καθορίζοντας το αναμενόμενο μέγεθος πακέτου, το φέρον και το χρόνο που χρειάζεται για να ληφθεί το σήμα. Ο χρόνος πρέπει να είναι τουλάχιστον ένα tt μεγαλύτερο από το χρόνο μετάδοσης ώστε να είναι βέβαιο ότι το πλήρες σήμα έχει παραληφθεί. Ένα ενεργοποιημένο plug παραλήπτης θα περιμένει έως ότου ένα σήμα-πακέτο παραληφθεί. Όταν η παραλαβή ενός σήματος ολοκληρωθεί, το frontend μοντέλο θα λάβει ένα συμβάν με το σήμα πακέτο επισυναπτόμενο. Αν συμβεί σύγκρουση το ίδιο συμβάν παράγεται αλλά αυτή την φορά χωρίς συνημμένο πακέτο. Το DFE μοντέλο, η frontend εφαρμογή και η XL-MAC εφαρμογή διαβιβάζει κάθε 40 ticks (ή 4uS) ένα πακέτο που αντιπροσωπεύει ένα σύμβολο OFDM. Η διαβίβαση εκτελείται σε πάνω από 38 ticks, ενώ η λήψη εκτελείται σε πάνω από 39 ticks. Ένα ξεχωριστό χρονικό συμβάν χρησιμοποιείται για να παραχθεί ένα νέο συμβάν κάθε 40 ticks για να ενεργοποιήσει ένα μεταδιδόμενο και ένα λαμβανόμενο plug σήμα. Το framework προσομοίωσης παρέχει υποστήριξη σε ευαισθησία φέροντος επιστρέφοντας τον αριθμό τον μεταδιδόμενων plugs σημάτων για ένα συγκεκριμένο φέρον κατά την διάρκεια μίας συγκεκριμένης περιόδου προσομοίωσης

3.3.1.1.1.3 Logger

Ενώ γίνεται η προσομοίωση τα μοντέλα υλικού και εφαρμογών μπορούν να παράγουν πληροφορίες κατάστασης για να ελέγχουν την λειτουργία τους. Αυτές οι πληροφορίες «συσκευάζονται» σε log μηνύματα και στέλνονται στον διακομιστή προσομοίωσης και προωθούνται από τον reflector σε έναν ή περισσότερους συνδεδεμένους log πελάτες. Οι log πελάτες μπορούν να φιλτράρουν αυτά τα μηνύματα βασιζόμενοι στις ιδιότητές τους και παρουσιάσουν μόνο σχετικές με αυτούς πληροφορίες σε ένα GUI, σε ένα τερματικό ή σε ένα αρχείο.

Κάθε log μήνυμα περιέχει τα εξής πεδία:

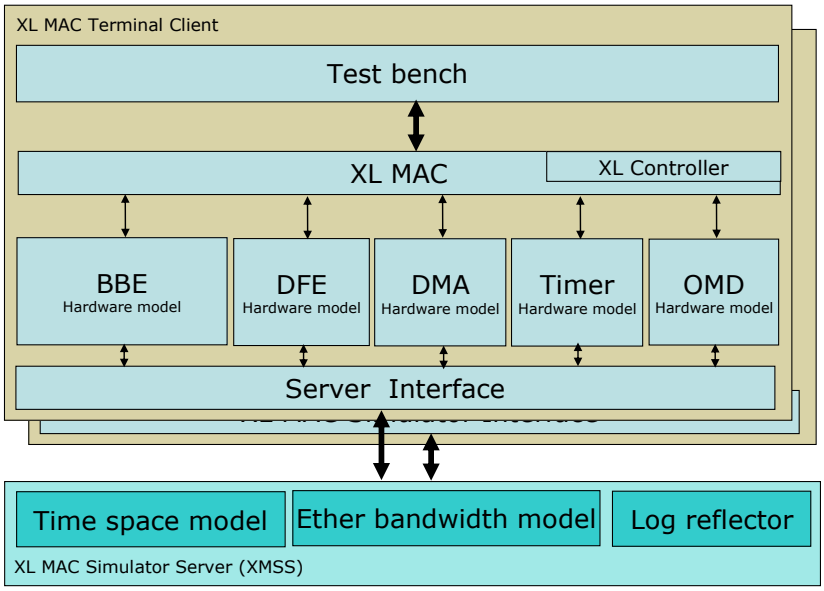
- Simulator time stamp.
- Terminal client number.
- Component name.
- Data type.
- Data.

Το simulator time stamp περιέχει την τιμή ρολογιού προσομοίωσης όταν το μήνυμα παράχθηκε δίνοντας μια ένδειξη χρόνου. Σε κάθε τερματικό πελάτη ορίζεται ένας μοναδικός αριθμός. Αυτός ο αριθμός προστίθεται στο μήνυμα και προσδιορίζοντας ποιος τερματικός πελάτης παρήγαγε το μήνυμα. Μια οντότητα υλικού μπορεί να τεθεί σαν στιγμιότυπο αρκετές φορές μέσα σε ένα σύστημα. Π.χ. η οντότητα ελεγκτών DMA του BEAR chip χρησιμοποιείται δύο φορές κατά συνέπεια έχουμε DMA1 και DMA2 συμβάντα. Μέσα στο πλαίσιο προσομοίωσης ένα μοντέλο υλικού μπορεί επίσης να επαναληφθεί αρκετές φορές σε διαφορετικά τμήματα υλικού που χρησιμοποιούν τα component του. Επίσης δεν μπορούν μόνο τα τμήματα υλικού να παραγάγουν πληροφορίες κατάστασης, αλλά επίσης και τα components του κώδικα εφαρμογής. Όταν ένα component παράγει ένα log μήνυμα το όνομα του θα τεθεί ως ιδιοκτήτης του μηνύματος. Το component μπορεί να χρησιμοποιεί ιεραρχική ονομασία όπως «BEAR.DMA.1», «BEAR.DMA.2», «BEAR.BBE». Ένα ενιαίο συστατικό μπορεί να παραγάγει διάφορα μηνύματα «κούτσουρων» που περιέχουν τις διαφορετικές πληροφορίες. (Π.χ. το πρότυπο υλικού DFE παράγει διάφορα μηνύματα κούτσουρων που περιέχουν την κατάσταση του αναλογικού μέρους και την κατάσταση του ψηφιακού μέρους). Η ιδιοκτησία τύπων στοιχείων προσδιορίζει ποιες πληροφορίες βρίσκονται στα στοιχεία μηνυμάτων. Επίσης το όνομα τύπων στοιχείων μπορεί να είναι ιεραρχικό όπως «το DFE.AN.PO WER», «DFE.AN.SE NSITIVITY», «DFE.DI.SA MPLERATE».

Τα μηνύματα δεδομένων περιέχουν πληροφορίες σε διαμόρφωση κειμένου (ASCII). Ανάλογα με τους τύπους δεδομένων που χρησιμοποιούνται τα δεδομένα μπορεί να αντιπροσωπεύουν έναν αριθμό, ένα αναγνώσιμο μήνυμα, ένα σύνολο από αριθμούς ή και κάτι άλλο. Το πλαίσιο προσομοίωσης δεν επιβάλλει οποιαδήποτε πιθανή τιμή για τον τύπο του ονόματος των components ή τον τύπο δεδομένων. Απλά το component παράγει το μήνυμα και ο logger ερμηνεύει το μήνυμα επιλέγοντας τιμές σύμφωνα με τις ιδιότητες του.

3.3.1.1.2 Τερματικός Πελάτης(Terminal Client)

Οι τερματικοί πελάτες, που συνδέονται με τον ίδιο κεντρικό διακομιστή προσομοίωσης αντιπροσωπεύουν τα ασύρματα τερματικά που βρίσκονται στο κοινό εύρος ζώνης και χρονικό διάστημα. Κάθε συνδεδεμένος τερματικός πελάτης εκτελεί τα δικά του μοντέλα υλικού και την δική του XL-MAC σε συγχρονισμό με το ρολόι προσομοίωσης και τους άλλους συνδεδεμένους τερματικούς πελάτες.



Εικόνα 26. SDR Simulation Client [72]

Ο τερματικός πελάτης έχει μια στρωματοποιημένη αρχιτεκτονική λογισμικού.

- Το χαμηλότερο στρώμα περιέχει τη διεπαφή με τον server που κρύβει όλες τις χαμηλού επιπέδου λεπτομέρειες σύνδεσης server/client χρησιμοποιώντας TCP/IP sockets. Παρέχει τις μεθόδους για τα μοντέλα υλικού που εγκαθιστούν μια σύνδεση, έχει πρόσβαση στο μοντέλο χρονικών διαστημάτων, στο μοντέλο εύρους ζώνης και στον log reflector.
- Το δεύτερο επίπεδο περιέχει τα μοντέλα υλικού. Για κάθε μοντέλου υλικού υλοποιείται σε λογισμικό και η αντίστοιχη συμπεριφορά στην μελλοντική πλατφόρμα. Μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθούν τα μοντέλα εύρους ζώνης χρονικών διαστήματος του server προσομοίωσης.
- Το τρίτο επίπεδο περιέχει την εφαρμογή δοκιμής ελέγχοντας τα τμήματα του υλικού. Στην περίπτωση της XL-MAC, η εφαρμογή είναι χωρισμένη στον XL-MAC κώδικα και σε ένα test bench.

3.3.2 Προσομοίωση Διασύνδεσης Network–On-Chip

Όπως έχουμε αναφερθεί ο προσομοιωτής υψηλού επιπέδου δίνει μία ακριβή εκτίμηση των ασύρματων συναλλαγών όσο αναφορά τις διεργασίες του υλικού που συνθέτει την πλατφόρμα. Από άλλη πλευρά, στερείται ευέλικτης δομής για την μοντελοποίηση της διασύνδεσης των πόρων του υλικού της πλατφόρμα. Η διασύνδεση μέσα στην πλατφόρμα υλοποιείται χρησιμοποιώντας μόλις δύο διαύλους δεδομένων όπου ο ένας χρησιμοποιείται για τον επαναπρογραμματισμό των συστατικών του υλικού και ο άλλος για την πραγματοποίηση της ανταλλαγής δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, αυτή η συμβατική προσέγγιση δεν επαρκεί για SDR εφαρμογές που απαιτούν πιο ευέλικτα συστήματα διασύνδεσης ικανά να υποστηρίξουν ετερογενή στοιχεία επεξεργασίας. Ένα Network-On-Chip φαίνεται να είναι μια πλατφόρμα με ιδανική αρχιτεκτονική για τέτοιου είδους απαιτήσεις. Για τις ανάγκες της μελέτης μας, ενσωματώνουμε τα μοντέλα SDR που περιγράφηκαν προηγουμένως σε ένα περιβάλλον NoC προσομοιωτή που ονομάζεται Nostrum.

3.3.2.1 NNSE: Nostrum NoC Περιβάλλον Προσομοίωση

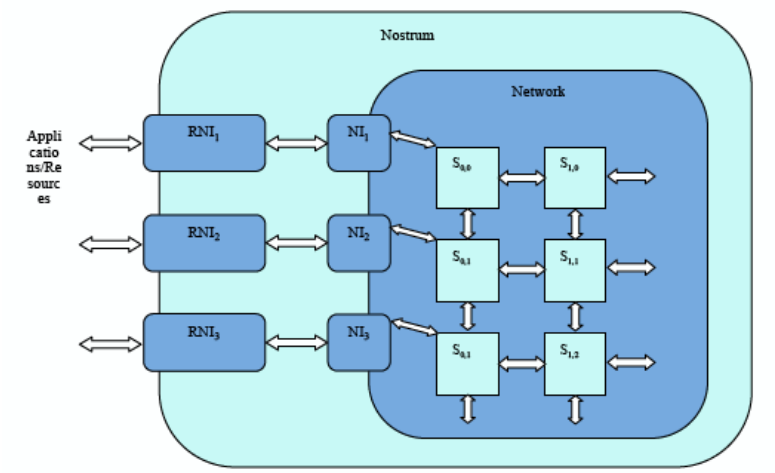
Ο προσομοιωτής Nostrum NoC [76] είναι ένα εργαλείο για πλήρη προσομοίωση ενός network-on-chip συστήματος. Αναπτύχθηκε και εξελίσσεται από μία ομάδα του πανεπιστημίου Royal Institute of Technology (KTH) της Σουηδίας. Ο προσομοιωτής παρέχει λειτουργία cycle-accurate επικοινωνιών σε NoC με 2D τοπολογία πλέγματος και χρησιμοποιεί deflective μηχανισμό δρομολόγησης. Η πρώτη έκδοση του προσομοιωτή Nostrum NoC αναπτύχθηκε από τον Rikard Thid το 2002 ως κύριο μέρος της διατριβή του [77]. Ονομάστηκε Semla και αντιπροσωπεύει το περιβάλλον προσομοίωσης αρχιτεκτονικών πολλαπλών επιπέδων. Η Semla είναι βασισμένη στην SystemC έχει τοπολογία πλέγματος 2D με μηχανισμό deflective δρομολόγησης «καυτής πατάτας» (hot potato).

Αργότερα ο Zhonghai LU ανέπτυξε μια πιο προηγμένη έκδοση του Nostrum NoC που ονομάστηκε NNSE από τα αρχικά Nostrum Network-on-Chip Simulation όπου και βασίστηκε σαν περιβάλλον στο Semla [78]. Ο νέος προσομοιωτής έχει διατηρήσει ένα γραφικό ενδιάμεσο με τον χρήστη (GUI) από το Semla και επιπλέον προστέθηκε μια διεπαφή βασισμένη σε MATLAB, επιτρέποντας στον προσομοιωτή να παρουσιάσει τα αποτέλεσμα προσομοίωσης σε γραφήματα. Επιπλέον προστέθηκαν ένας wormhole μηχανισμός switching, αυτόματες διαμορφώσεις κίνησης και παραγωγής κυκλοφορίας. Επίσης, επεκτάθηκαν οι υποστηριζόμενες τοπολογίες 2D NoC όπως η 2D Torus και η Manhattan Street Network (MSN).

Από τις αρχές του 2008 έχουν συντελεστεί μεγάλες αλλαγές στον προσομοιωτή Nostrum NoC. Ο Mikeal Millberg έχει ξαναγράψει τον προσομοιωτή βασισμένος σε όλη τη προηγούμενη δουλειά [79]. Ο μηχανισμός εγγυημένου bandwidth QoS και TDN έχει διατηρηθεί ενώ η τοπολογία πλέγματος παραμένει 2D. Το GUI και τα σχετικά με το MATLAB χαρακτηριστικά δεν υποστηρίζονται αλλά ο προσομοιωτής τώρα είναι συμβατός με το AXI CASI μοντέλο ενώ η διεπαφή με τον χρήστη γίνεται με δύο αρχεία XML .

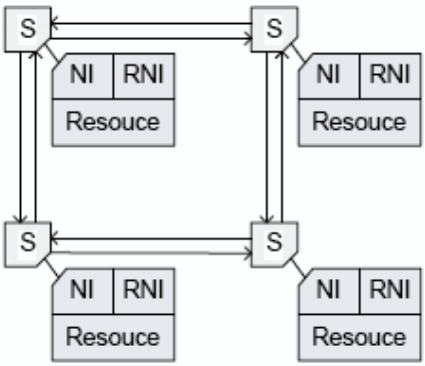
3.3.2.2 Nostrum Γενική Δομή

Ο προσομοιωτής Nostrum NoC είναι ένας προσομοιωτής δικτύων υλοποιημένος σε επίπεδα. Προκειμένου να επικοινωνήσουν μέσω του δικτύου, οι πόροι στον προσομοιωτή είναι εξοπλισμένοι με μια διεπαφή δικτύου (NI) και μία διεπαφή δικτύων πόρων Resource Network Interface (RNI). Το NI παρέχει ένα τυποποιημένο σύνολο υπηρεσιών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το RNI. Ο ρόλος του RNI είναι να ενεργήσει ως προσαρμογέας μεταξύ της εσωτερικής υποδομής επικοινωνίας των πόρων και του τυποποιημένου συνόλου υπηρεσιών του NI. Η στοίβα πρωτοκόλλου για το Nostrum μπορεί να διαιρεθεί σε δύο γενικές κατηγορίες, Nostrum stack και custom stack. Στην εικόνα 4.8 εξηγείτε η γενική δομή του προσομοιωτή Nostrum



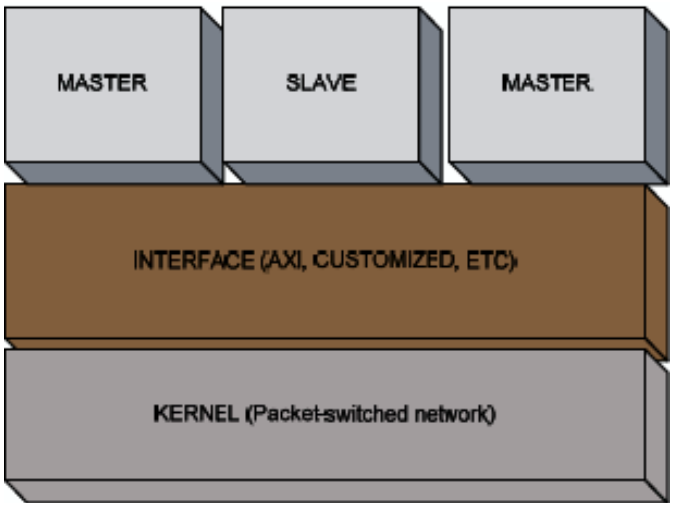
Εικόνα 27. Nostrum Γενική Δομή

Ο προσομοιωτής Nostrum μπορεί να εφαρμόσει όσο αναφορά την δρομολόγηση των πακέτων τόσο στρατηγική best effort traffic (BE) όπου οι αποφάσεις switching λαμβάνονται τοπικά στους διακόπτες για κάθε data που καθοδηγείται μέσω του δικτύου όσο και στρατηγική guaranteed bandwidth traffic χρησιμοποιώντας εικονικό κύκλωμα Virtual Circuit (VC). Η δικτυακή αρχιτεκτονική του προσομοιωτή Nostrum είναι βασισμένη σε Mesh. Αποτελείται από τους διακόπτες, τις συνδέσεις, τους πόρους και τις διεπαφές. Η Εικόνα 31 απεικονίζεται πώς αυτά τα συστατικά συνδέονται στο Nostrum NoC



Εικόνα 28. Αρχιτεκτονική Δικτύου

Όπως αναφέρθηκε πριν η τωρινή έκδοση του Nostrum είναι συμβατή με το πρωτόκολλο AMBA AXI. Το πρωτόκολλο Axi είναι η διεπαφή μεταξύ των εφαρμογών και του RNI.Έτσι είναι υλοποιημένο σε ένα επίπεδο κάτω από το RNI. Παρακάτω όταν αναφερόμαστε στην έννοια του πυρήνα (kernel) θα αναφερόμαστε σε όλα τα επίπεδα που βρίσκονται κάτω από το RNI συμπεριλαμβανομένου και του ίδιου όπως π.χ. RNI, NI, switch κτλ. Οι εφαρμογές σύμφωνα με το πρωτόκολλο AXI χωρίζονται σε δύο ομάδες masters και slaves. Στην Εικόνα 32 απεικονίζεται ολόκληρη η δομή της τωρινής έκδοσης του Nostrum NoC ο προσομοιωτής περιλαμβάνει τον kernel και την εφαρμογή AXI.



Εικόνα 29. Γενική Δομή Nostrum Προσομοιωτή

3.3.2.3 AMBA AXI Πρωτόκολλο

Το πρωτόκολλο AMBA AXI προτείνεται για υψηλής απόδοσης και συχνότητας συστήματα περιλαμβάνοντας έναν αριθμό από χαρακτηριστικά που υποστηρίζουν ένα υψηλής ταχύτητας submicron δίκτυο διασύνδεσης [54]. Οι προδιαγραφές AXI δημιουργήθηκαν με τους ακόλουθους στόχους για να εξασφαλιστεί η καταλληλότητά του πρωτοκόλλου για την επόμενη γενιά σχεδιασμού.

- Καταλληλότητα για σχεδιασμούς υψηλού εύρους ζώνης (bandwidth) και χαμηλής καθυστέρησης (latency)
- Υποστήριξη λειτουργιών υψηλής συχνότητας χωρίς την χρησιμοποίηση πολύπλοκων γεφυρών (bridges)
- Υποστήριξη interface μίας ευρείας γκάμας components
- Συμβατότητα για τους ελεγκτές μνημών με υψηλή αρχική καθυστέρηση(latency) πρόσβασης
- Παρεχόμενη ευελιξία στην υλοποίηση των αρχιτεκτονικών διασύνδεσης
- Συμβατότητα με τις υπάρχουσες τεχνολογίες AMBA

Τα χαρακτηριστικά «κλειδιά » που περιλαμβάνονται στο AXI είναι:

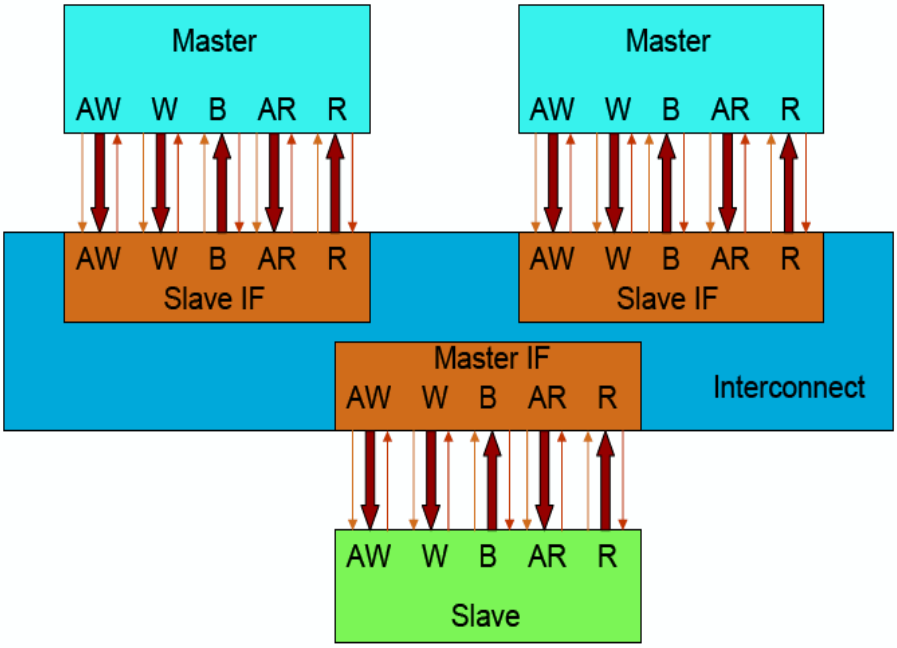
- Χωριστές φάσεις διευθυνσιοδότησης και ελέγχου των δεδομένων
- Υποστήριξη unaligned μεταφορές δεδομένων χρησιμοποιώντας byte strobes

- Burst-based transactions με μόνο την διεύθυνση έναρξης
- Χωριστά κανάλια read και write ώστε να επιτρέπεται χαμηλού κόστους άμεση πρόσβαση μνήμης (DMA)
- Δυνατότητα να εκδοθούν πολλαπλές outstanding διευθύνσεις • Ολοκλήρωση συναλλαγής εκτός σειράς
- Εύκολη καταχώρηση επιπλέον σταδίων ώστε να επιτευχθεί περαιτέρω ακρίβεια ως προς το χρόνο
- Το πρωτόκολλο περιλαμβάνει τις προαιρετικές επεκτάσεις που καλύπτουν τη σηματοδότηση για λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης

Το πρωτόκολλο AXI καθορίζει τη διεπαφή μεταξύ των masters και slaves. Εντούτοις, δεν απαιτείται οι masters και slaves να συνδέονται άμεσα. Γενικά, το πρωτόκολλο AXI παρέχει έναν ενιαίο ορισμό διασύνδεσης για την περιγραφή των διεπαφών.

- Μεταξύ ενός master και του interconnect
- Μεταξύ ενός slave και του interconnect
- Μεταξύ ενός master και ενός slave

Όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 33 , ο καθορισμός των διεπαφών υποστηρίζει έναν αριθμό από διαφορετικές υλοποιήσεις διασύνδεσης, όπως bus, network και κλπ. Η διασύνδεση μεταξύ των master/slave components είναι ισοδύναμη με ένα άλλο component «συμμετρικό» με τα ports master και slave στα οποία τα πραγματικά master και slave components μπορούν να είναι συνδεθούν.

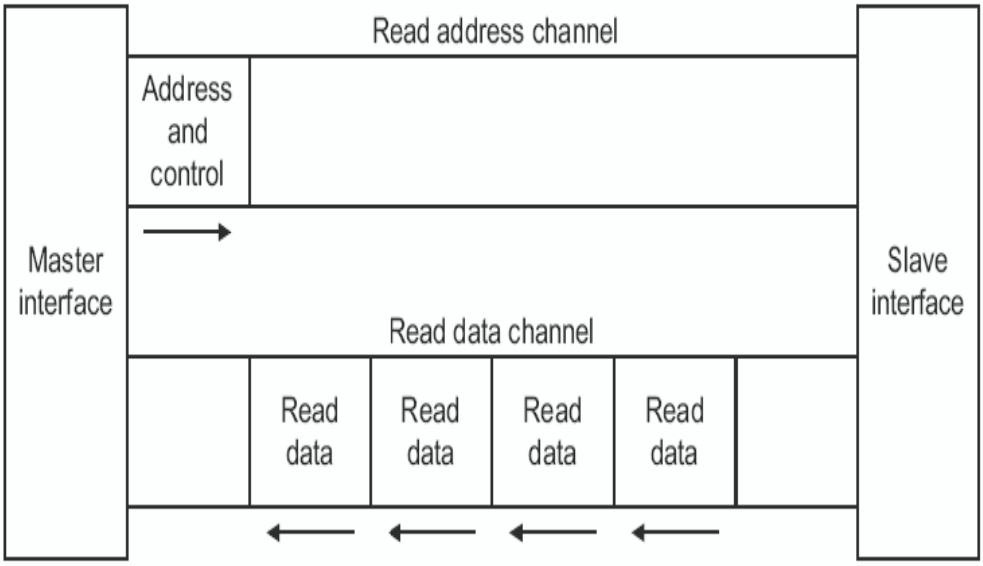


. **Εικόνα 30.** AXI Διεπαφή και Διασύνδεση

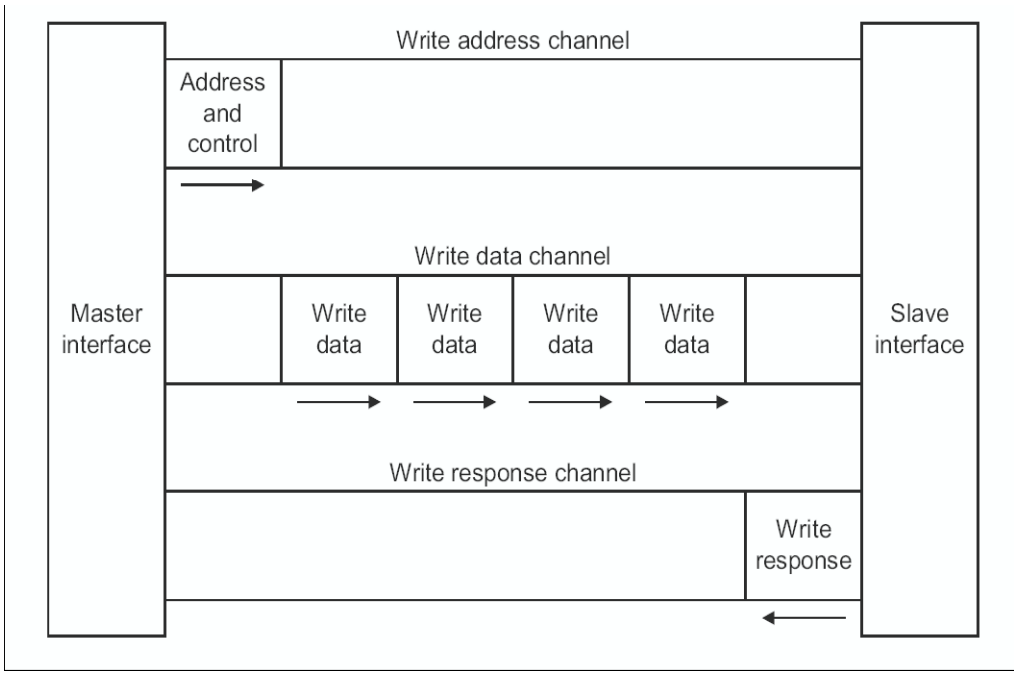
Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του πρωτοκόλλου AXI είναι τα ξεχωριστά κανάλια που χρησιμοποιεί. Στο AXI υπάρχουν πέντε ανεξάρτητα κανάλια που

είναι: τα:read address channel, write address channel, read data channel, write data channel και write response channel. Σε κάθε συναλλαγή, οι πληροφορίες διευθύνσεων και ελέγχου που περιγράφουν τη φύση των δεδομένων μεταφέρονται μέσω του καναλιού διευθύνσεων. Τα δεδομένα μεταφέρονται από τον master στον slave μέσω του write data channel ή από τον slave στον master μέσο του read data channel. Στα write transactions το πρωτόκολλο AXI έχει έναν επιπρόσθετο write response channel απάντησης για να επιτρέψει στον slave να ειδοποιήσει τον master αν έχει ολοκληρωθεί το tracanction.

Η Εικόνα 34 παρουσιάζει πως υλοποιούνται τα read και write transactions. Κάθε ένα από τα κανάλια αποτελείται από ένα σύνολο από σήματα πληροφοριών που χρησιμοποιεί διπλής κατεύθυνσης μηχανισμό handshake VALID και READY. Στο τέλος της διάθεσης πληροφοριών το σήμα VALID χρησιμοποιείται για να δείξει ότι οι πληροφορίες δεδομένων ή ελέγχου είναι διαθέσιμες για το κανάλι. Στο τέλος του προορισμού, το σήμα READY χρησιμοποιείται για να δηλώσει ότι μπορεί να δεχτεί τα δεδομένα. Και τα δύο κανάλια read data channel και write data channel περιλαμβάνουν ένα σήμα LAST για να δηλώσουν ότι μεταφέρθηκαν τα τελευταία δεδομένα.



(a) Read Transaction



(b)Write Transaction

Εικόνα 31 AXI Διεργασίες

3.3.2.4 Αρχεία Βασικού Πυρήνα Προσομοίωσης

Παρακάτω θα αναπτυχθεί η λειτουργικότητα για όλα τα σημαντικά αρχεία του Nostrum και ιδιαίτερα τα αρχεία που αφορούν τον πυρήνα (kernel). Περισσότερες πληροφορίες [81].

semla_datatypes.h & semla_datatypes.cpp
Αυτά τα δύο αρχεία ορίζουν τα βασικά data types που χρησιμοποιούνται στον πυρήνα του προσομοιωτή σαν message id, channel id, tdn, κτλ.

mp_if.h
Το mp_if.h αρχείο ορίζει τους TDN τύπους (ChannelType) για την διαμόρφωση χρηστών στο XML αρχείο. Επιπλέων οι εικονικές λειτουργίες (virtual functions) που ορίζονται στην Mp_if class είναι οι λειτουργίες που συνδέουν τον πυρήνα του Nostrum με τις εφαρμογές. Το αντικείμενο mp_if χρησιμοποιείται στην υλοποίηση των resources εικόνα 31.

mpdu.h & mpdu.cpp
Στον προσομοιωτή Nostrum NoC, όλες οι οντότητες επικοινωνούν με την ανταλλαγή μονάδων στοιχείων πρωτοκόλλου Protocol Data Units (PDUs) που καθορίζονται στο αρχείο mpdu.h. Το PDU είναι ουσιαστικά μια δέσμη δεδομένων με διάφορους τύπους και τα διαφορετικούς identifiers. Ο σκοπός των PDU είναι να περάσουν τη στοίβα πρωτοκόλλου από πάνω προς τα κάτω, αποφεύγοντας την περιττή αντιγραφή των δεδομένων και επομένως αυξάνοντας την ταχύτητα προσομοίωσης. Επιπλέον, το PDU είναι ευέλικτο και τα στοιχεία δεδομένων μπορούν να προστεθούν και να αφαιρεθούν εύκολα. Το αντικείμενο

mpdu έχει δημιουργηθεί από το αντικείμενο mp_if στο "RNI" και χρησιμοποιείται "NI" και στο "switch" εικόνα 31.

simulation_params.h & simulation_params.cpp
Αυτά τα αρχεία είναι αρμόδια για την ανάλυση (parsing) του αρχείου XML που διαμορφώνει την τοπολογία του δικτύου και καθορίζει τις παραμέτρους του προσομοιωτή. Οι μέθοδοι parsing σε αυτά τα αρχεία κληρονομούνται από το λογισμικό Xerces-C++.

switch.h & switch.cpp
Οι διακόπτες (switches) είναι ο ακρογωνιαίος λίθος του δικτύου. Σε αυτά τα αρχεία αρχικά καθορίζονται οι διαφορετικοί τρόποι υπολογισμού των προτεραιοτήτων και τα κέρδη. Κατόπιν υλοποιούνται οι μέθοδοι επικοινωνίας μεταξύ των διακοπτών και του NI. Στο τέλος υλοποιείται ο μηχανισμός δρομολόγησης με τη σύγκριση των κερδών όλων των πιθανών εναλλαγών (permutations). Το αντικείμενο διακόπτης απεικονίζεται στο "switch" εικόνα 4.9.

ni.h & ni.cpp
Η διεπαφή δικτύου είναι πολύ σημαντική και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι το ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ RNI και διακοπτών. Οι ευθύνες της περιλαμβάνουν το χειρισμό και τον έλεγχο της προς τα πάνω και προς τα κάτω επικοινωνίας. Η διεπαφή δικτύων ενημερώνει επίσης και διατηρεί τον αριθμό TDN για τα γειτονικά RNI και το διακόπτη. Το αντικείμενο NI εμφανίζεται στο "NI" εικόνα 31.

rni.h and rni.cpp
Το RNI είναι η διεπαφή μεταξύ των εφαρμογών και του πυρήνα του προσομοιωτή. Εξάγει όλες τις πληροφορίες από το επίπεδο εφαρμογής και τις στέλνει στη διεπαφή δικτύων. Λαμβάνει επίσης τα προς τα πάνω πακέτα από το δίκτυο. Οι εικονικές λειτουργίες που ορίζονται στο mp_if.h υλοποιούνται στο RNI. Το "RNI" στην εικόνα 31 βρίσκεται όπου βρίσκεται το αντικείμενο rni στονNostrum

wire.h and wire.cpp
Το αντικείμενο καλωδίων προσομοιώνει την σύνδεση επικοινωνίας μεταξύ των switches στο δίκτυο. Η μόνη χρήση των καλωδίων είναι να διαβιβάσουν πακέτα από το ένα τέλος καλωδίου στο άλλο. Τα διπλά βέλη στην εικόνα 4.9 είναι τα αντικείμενα των καλωδίων.

edge.h & edge.cpp
Στον προσομοιωτή Nostrum NoC, ο χρήστης είναι σε θέση να αποφασίσει εάν θα επιτραπεί να υπάρχει buffer στα edge elements. Εάν το edge είναι διαθέσιμο είναι δυνατόν να δρομολογήσει ένα πακέτο στην κατεύθυνση edge. Σκοπός είναι να επιστραφεί το πακέτο πίσω στην κατεύθυνση από την οποία προήλθε μετά από την καθυστέρηση δύο κύκλων. Διαφορετικά, όλη η δρομολόγηση στην κατεύθυνση edge θα πρέπει να απορριφτεί.

network.h and network.cpp

Στο αντικείμενο δικτύου είναι εγκατεστημένο το δίκτυο του NoC συστήματος όπου υλοποιούνται τα edges,τα wires, τα switches and τα NIs. Μετά από την δημιουργία των στοιχείων το δίκτυο τα συνδέει σύμφωνα με την διαμόρφωση.

nostrum.h and nostrum.cpp
Στο αντικείμενο nostrum δημιουργείται και διαμορφώνεται το δίκτυο. Επίσης, τα RNIs που δεν είναι μέρος του αντικειμένου δικτύων δημιουργούνται και συνδέονται με τα αντίστοιχα NIs σύμφωνα με τους αντίστοιχους δείκτες του RNI και του NI. Από εκείνη την στιγμή και μετά ο πυρήνας του Nostrum NoC έχει δημιουργηθεί και διαμορφωθεί.

3.4 Συμπεράσματα Και Παρατηρήσεις

Σε αυτό το κεφάλαιο, εκμεταλλευτήκαμε την ευελιξία ενός πλαισίου προσομοίωσης σε επίπεδο συστήματος, συνδυάζοντας ένα SDR coarse-grain προσομοιωτή με ένα cycle accurate Network-on-Chip περιβάλλον. Η προτεινόμενη ροή προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα πρώιμο στάδιο σχεδιασμού για τον ακριβή χαρακτηρισμό μίας μελλοντικής πλατφόρμας. Σκοπός είναι ο καθορισμός των βέλτιστων ρυθμίσεων του συστήματος. Η αυτόματη εξερεύνηση της πλατφόρμας SDR και η διεπαφή μεταξύ των δύο επιπέδων προσομοίωσης επιτυγχάνεται μέσω δύο wrappers, τα οποία εξασφαλίζουν την αυτόματη εκτέλεση του πλαισίου μας, και κατά συνέπεια την αυτόματη εξερεύνηση των διαφορετικών διαμορφώσεων της SDR πλατφόρμας. Έτσι ένα σύνολο από συμβιβασμούς κόστους ορίζεται που μπορεί να αξιοποιηθεί για την τελική ανάπτυξη της πλατφόρμας. Το σύνολο εξερεύνηση των σημείων σχεδιασμού καθώς και η NoC προσομοίωση είναι πλήρως αυτοματοποιημένη μειώνοντας την προσπάθεια που απαιτείται από τον σχεδιαστή.

4. Μελέτες Εργασίας & Σενάρια Συστήματος

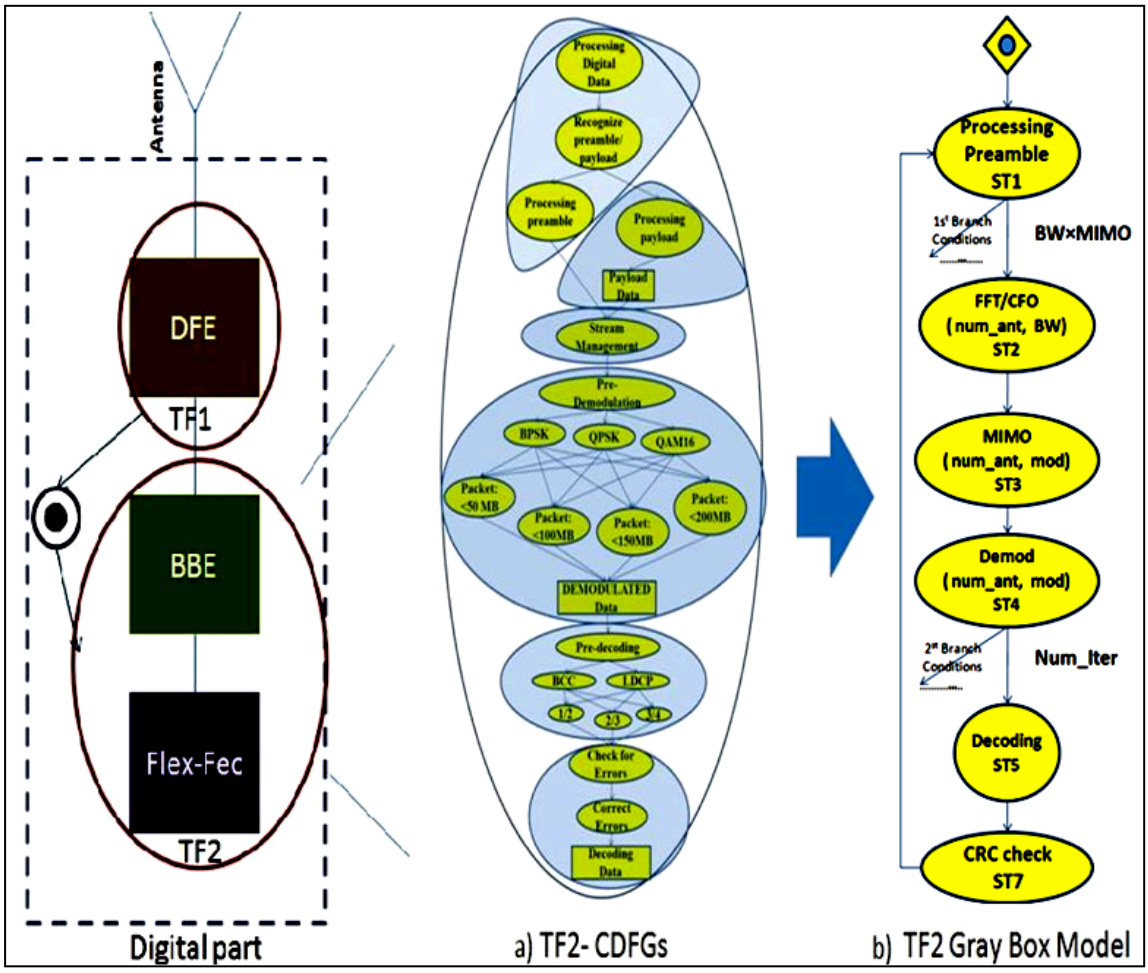
4.1 Ασύρματες PHY-Oriented Πλατφόρμες & Σενάρια Συστήματος

Η περιοχή εφαρμογών που επικεντρώνεται η παρούσα διατριβή, είναι τα ασύρματα PHY oriented συστήματα και συγκεκριμένα τα Software Define Radio (SDR) και Cognitive Radio συστήματα. Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζεται η εφαρμογή της θεωρίας σεναρίων στο στάδιο της επεξεργασίας βασικής ζώνης και στο στάδιο αποκωδικοποίησης κατά τη διάρκεια μιας ασύρματης μετάδοσης. Κάθε RTS συνδέεται με έναν ή περισσότερους πρωτογενείς παράγοντες κόστους. Για τα ασύρματα κινητά συστήματα αυτοί οι παράγοντες είναι: 1) η απόδοση, η οποία σχετίζεται με την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, και 2) η κατανάλωση ενέργειας, η οποία σχετίζεται με την αυτονομία της συσκευής. Αυτοί οι στόχοι πρέπει να ικανοποιηθούν τηρώντας τους αυστηρούς περιορισμούς των ασύρματων εφαρμογών.

4.2 Μελέτη Εργασίας I

Ο στόχος αυτής της μελέτης εργασίας είναι να δείξουμε πώς τα σενάρια συστήματος εφαρμόζονται σε μία ασύρματη εφαρμογή, εξετάζοντας τους συμβιβασμούς κόστους εκμεταλλευόμενοι την διαφορά μεταξύ του σχεδιασμού βάση της χειρότερης περίπτωσης και της χρήσης σεναρίων. Η διαφορά αυτή έγκειται στην εκμετάλλευση του «αδρανούς» (idle) χρόνου της πρώτης περίπτωσης με την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ισχύος. Έτσι σε μια συμβατική προσέγγιση, η πλατφόρμα θα πρέπει να διαμορφωθεί λαμβάνοντας υπόψη τον χειρότερο χρόνο εκτέλεσης μεγιστοποιώντας την σπατάλη πόρων. Τα σενάρια συστήματος δίνουν την ευκαιρία στο σύστημα να δράσει προληπτικά δίνοντας μία προ-εκτίμηση των πραγματικά απαραίτητων πόρων.

Η μεθοδολογία ξεκινάει με την αναγνώριση όλων των πιθανών RTSs, τα οποία εμφανίζονται σε ένα ασύρματο PHY–oriented σύστημα. Για να εξαχθούν τα RTSs, χρειαζόμαστε μια λεπτομερής περιγραφή της εφαρμογής. Στην Εικόνα 44, παρουσιάζεται ένα τυπικό παράδειγμα ενός ασύρματου συστήματος, με τα αντίστοιχα CDFGs («γκρι» μοντέλο), το οποίο επικεντρώνεται στον διαχωρισμό των βασικών παραμέτρων της εφαρμογής με την χρήση Thread Frames (TFs) και Tread Nodes (TNs). Έτσι η ψηφιακή επεξεργασία μπορεί να χωριστεί σε δύο κύρια Thread Frames TFs (TF1 και TF2). Το TF1 περιλαμβάνει τις διαδικασίες του Digital Front-End (DFE) ενώ το TF2 περιλαμβάνει τις διεργασίες επεξεργασίας βασικής ζώνης (BBE) και διόρθωσης σφαλμάτων (Flex-FEC). Η αιτία διαχωρισμού της λειτουργίας σε δύο διαφορετικά TFs είναι η ύπαρξη συγχρονισμού μεταξύ των DFEs και των BBEs, ο οποίος εισάγει μη ντετερμινισμό. Η ανάλυση εστιάζεται στα σενάρια στο TF2.



Εικόνα 32. CDFGs & Γκρι Μοντέλο της εφαρμογής

Για τον ορισμό των RTS παραμέτρων χρησιμοποιούμε τα tread nodes (TNs) του γκρι μοντέλου. Υπάρχουν συνολικά έξι TNs: το TN1 αντιπροσωπεύει την επεξεργασία του preamble, το TN2 περιλαμβάνει την επεξεργασία των FFTs, το TN3 υλοποιεί τον προγραμματισμό των πολλαπλών κεραιών, το TN4 εκτελεί αποδιαμόρφωση, το TN5 αποκωδικοποιεί τα δεδομένα και το TN6 υλοποιεί τους ελέγχους και τις διορθώσεις σε πιθανά σφάλματα στα δεδομένα. Τα TNs περιλαμβάνουν διακλαδώσεις που εξαρτώνται από τις ειδικές παραμέτρους της εφαρμογής, που είναι 1) ο αριθμός των κεραιών, 2) το εύρος ζώνης, 3) ο αριθμός των επαναλήψεων κατά τη διάρκεια της αποκωδικοποίησης, 4) το μέγεθος του μπλοκ των δεδομένων κατά την αποκωδικοποίηση, 5), το είδος διαμόρφωσης. Ο Πίνακας 5 περιγράφει τις RTS παραμέτρους με τις τιμές τους. Όλοι αυτοί οι πιθανοί συνδυασμοί ορίζει ένα χώρο εξερεύνηση 288 RTSs.

Num_ antennas	1, 2, 4
BW (MHz)	20MHz, 40 MHz
Block Size	S<648 bits, 648bits<M<1080bits, L>1080bits
Iterations	4,5, 6,7
Modulation Schemes	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM

Πίνακας 3 RTS παράμετροι TF2

Για τον χαρακτηρισμό των RTSs, χρησιμοποιούμε αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα, τα οποία έχουν εξαχθεί από μία πραγματική ασύρματη πλατφόρμα, που έχει αναπτυχθεί από την IMEC [82]. Ο χαρακτηρισμός περιορίζεται μόνο για τον υπολογισμό του χρόνου εκτέλεσης για κάθε RTS, επειδή δεν έχουμε αρκετές πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας της πλατφόρμας. Κάθε RTS χαρακτηρίζεται από το άθροισμα των χρόνων εκτέλεσης των tasks που την αποτελούν. Ο δέκτης επεξεργάζεται τα εισερχόμενα δεδομένα σε μπλοκ από bits. Κάθε μπλοκ έχει μια σειρά από bits και έναν αντίστοιχο αριθμό συμβόλων με βάση την τρέχουσα διαμόρφωσης. Αυτά σε συνδυασμό με τις άλλες παραμέτρους RTS καθορίζουν το χρόνο εκτέλεσης και το κόστος για την επεξεργασία των δεδομένων.

Η προσομοίωση χρησιμοποιεί μια ακολουθία 1000 blocks WLAN (802.11n). Στον Πίνακα 6, μπορούμε να δούμε τους χρόνους εκτέλεσης των μπλοκ WLAN με την αντίστοιχη πιθανότητα για αντιπροσωπευτικά στιγμιότυπα μίας σύνδεσης WLAN. 54% των μπλοκς έχουν χρόνους εκτέλεσης 0-6 ms και η χειρότερη περίπτωση (128ms) αντιστοιχεί μόλις στο 1% του μπλοκ. Έτσι είναι φανερό ο μέσο όρος διαφέρει πολύ από την χειρότερη περίπτωση με αποτέλεσμα την ύπαρξη μεγάλου slack. Στόχος μας είναι η προ-εκτίμηση αυτού του slack χρησιμοποιώντας τα σενάρια συστήματος με την ελάχιστη επιβάρυνση.

Execution Time per Data Block (msec)	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-28	28-50	50-100	100-128
Data Block Probability	20%	21%	13%	9%	7%	5%	4%	7%	7%	4%	2%	1%

Πίνακας 4. Κατανομή Χρόνων Εκτέλεσης για 1000 WLAN μπλοκς

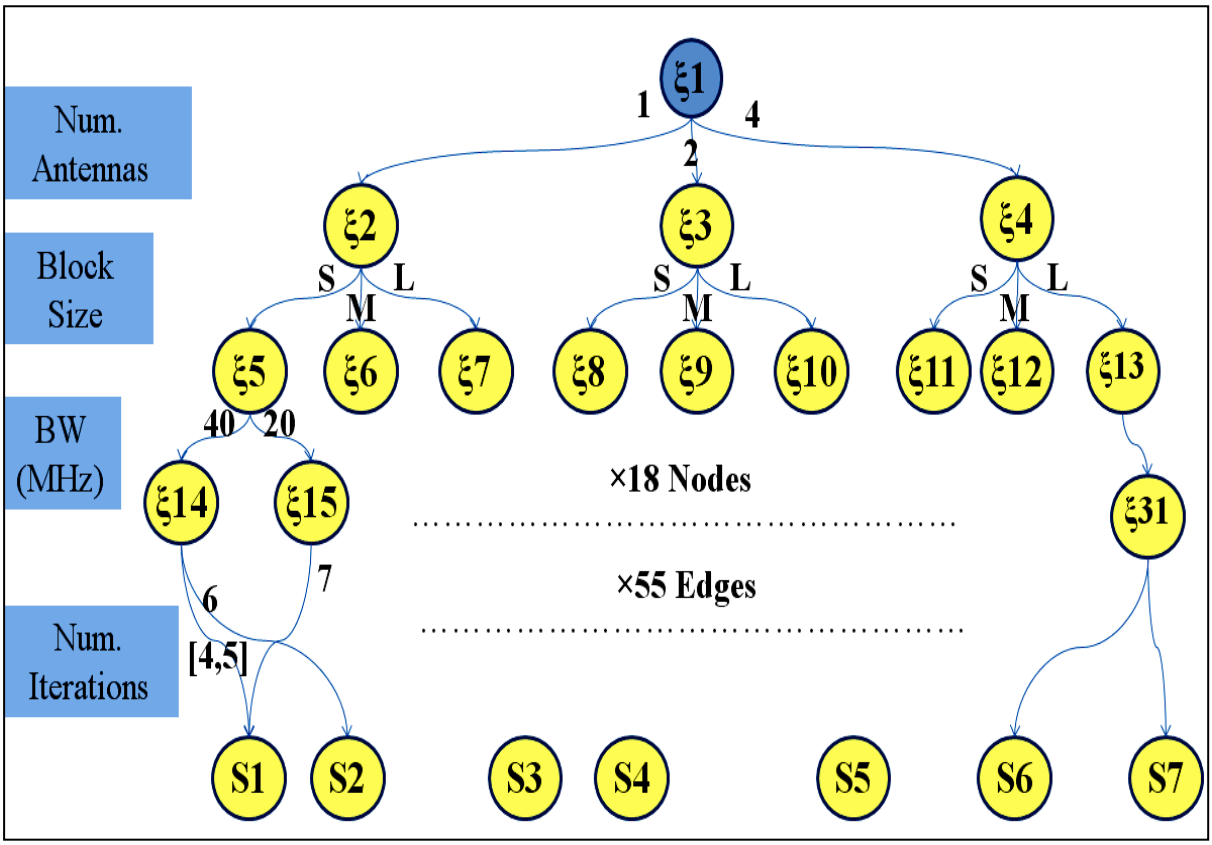
Μετά από το στάδιο του χαρακτηρισμού, τα RTSs ομαδοποιούνται σε σενάρια εξετάζοντας τους συμβιβασμούς μεταξύ της ομαδοποίησης (clustering), της εναλλαγής (switching) και της ανίχνευσης (detection). Η πρώτη ομαδοποίηση στοχεύει στην ελάχιστο overhead ομαδοποίησης. Με βάση τις αρχές που εξηγήσαμε στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας κατά τη διάρκεια της ομαδοποίησης πρέπει να λάβουμε υπόψη τη συχνότητα του RTSs. Επειδή, δεν έχουμε αυτή την πληροφορία, για αυτή τη μελέτη περίπτωσης, υποθέτουμε ότι οι συχνότητες είναι ίσες για όλα τα RTSs, έτσι ο χαρακτηρισμός του κόστους αποτελεί το μόνο κριτήριο. Έτσι, ο αλγόριθμος ομαδοποίησης λαμβάνει υπόψη μόνο τις αποστάσεις μεταξύ των εξόδων των ομαδοποιημένων RTSs και εξάγει τα σενάρια. Με βάση αυτή την

προσέγγιση, πετυχαίνουμε ένα γράφημα ανίχνευσης αποτελούμενοι από 38 κόμβους και 102 ακμές.

Το κλάδεμα του διαγράμματος αποφάσεων που προτείνεται στο [55], περιλαμβάνει 4 ειδών μετασχηματισμούς 1) συγχώνευση κόμβων, 2) αφαίρεση κόμβου, 3) συγχώνευση ακμών, 4) αναδιάταξη ακμών. Τα πρώτα δύο είδη δεν εφαρμόζονται σε αυτή τη περίπτωση ενώ ο τέταρτος μετασχηματισμός απαιτεί πληροφορίες σχετικά με την αναλογία εμφάνισης των τιμών των παραμέτρων RTS, οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες. Ο μόνος μετασχηματισμός που μπορεί να εφαρμοστεί είναι ο τρίτος και μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στους κόμβους που σχετίζονται με τον αριθμό των επαναλήψεων (γιατί μόνο εκεί υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες), και μπορεί να επιτύχει μια μείωση των ακμών από 72 σε 55, βλέπε εικόνα 45. Ακριβέστερα, οι εξερχόμενες ακμές από τον ίδιο κόμβο με τον ίδιο προορισμό συγχωνεύονται σε μια ακμή. Για παράδειγμα, στο κόμβο ξ14 (βλέπε εικόνα 45) καταλήγουμε στο ίδιο σενάριο για αριθμό των επαναλήψεων 4 και 5. Έτσι συγχωνεύονται οι αντίστοιχες ακμές σε μία. Οι συνολικές ακμές στο διάγραμμα απόφασης μειώνονται από102 σε 85.

Το διάγραμμα ανίχνευσης υλοποιεί την επιλεγμένη στρατηγική ομαδοποίησης. Για την περαιτέρω μείωση του overhead ανίχνευσης, εφαρμόζουμε επιπλέον μετασχηματισμούς. Με βάση τον αντίκτυπο των RTS παραμέτρων στα μετρικά κόστη υπάρχει ταξινόμηση στην προτεραιότητα μετασχηματισμού των κόμβων. Αυτή η προτεραιότητα ορίζεται ως εξής: 1) οι κόμβοι που σχετίζονται με τον αριθμό των επαναλήψεων κατά την αποκωδικοποίηση, είναι πρώτη στην σειρά για τροποποίηση. καθώς βρέθηκε ότι αυτή η παράμετρος RTS έχει το λιγότερο αντίκτυπο στην διακύμανση του συνολικού χρόνου εκτέλεσης 8% -26%. 2) Το εύρος ζώνης είναι ακριβώς το επόμενο με 30%. 3) το μέγεθος των μπλοκς ακολουθεί με 25% -45% και τέλος 4) ο αριθμός των κεραιών με διακύμανση 25% -70%.Ο αριθμός των επαναλήψεων είναι η παράμετρος με την λιγότερη επίδραση στο χρόνο εκτέλεσης των RTSs. Έτσι οι κόμβοι που συνδέονται με τις επαναλήψεις προτιμούνται να μετασχηματιστούν πρώτοι αφού το προστιθέμενο overhead θα είναι ελάχιστο. Η υλοποίηση του αλγορίθμου ανίχνευσης, μετά τους μετασχηματισμούς παρουσιάζεται, στην εικόνα 46. Στους κόμβους από ξ14 μέχρι ξ31, ορισμένα από τις ακμές ομαδοποιούνται ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις (ξ14, ξ15, ξ16) οι ακμές κόμβων ενοποιούνται σε μία και ο κόμβος παρακάμπτεται. Τα αποτέλεσμα των μετασχηματισμών είναι τα ακόλουθα: 1) μείωση του αριθμού των κόμβων από 38 σε 30, 2) μείωση του αριθμού των ακμών από 85 σε 49, και, 3) αύξηση της υπερεκτίμηση ομαδοποίησης κατά 2% - 5%. Το τελικό αποτέλεσμα στην υλοποίηση του αλγόριθμου ανίχνευσης είναι η μείωση στην δέσμευση μνήμης 42%, με μείωση των κόμβων και διακλαδώσεων που απαιτούνται για την υλοποίηση του και μία βελτιστοποίηση της απόδοσης των περίπου 5% με την συντόμευση των διαδρομών απόφασης, (βλέπε την πορεία ανίχνευσης του S1 Εικόνα 45 (4 ακμές) και το Σχήμα 46 (3 ακμές)).

Τέλος, οι βελτιώσεις στο διάγραμμα απόφασης (Εικόνα 46) καθιστούν δυνατή την αποτελεσματική προ-εκτίμηση του χρόνου χαλάρωσης (time slack) κατά τη διάρκεια της WLAN σύνδεσης. Ο πίνακας7 παρουσιάζει τα αποτελέσματα των προβλεπόμενων χρόνων εκτέλεσης για 5 διαφορετικές εκτελέσεις 1000 WLAN μπλοκς σε σχέση με την χειρότερη περίπτωση. Η βελτίωση της εκτίμησης του χρόνου εκτέλεσης είναι κατά μέσο όρο 92% καλύτερη σε σχέση με την χειρότερη περίπτωση. Έτσι, ο σχεδιαστής έχει την ευκαιρία χρησιμοποιώντας την αυτό το time slack να χαλαρώσει την τάση λειτουργίας συστήματος βελτιώνοντας την κατανάλωση ενέργειας της πλατφόρμας.



Εικόνα 33. Διάγραμμα Απόφασης (Πριν τους Μετασχηματισμούς [55])

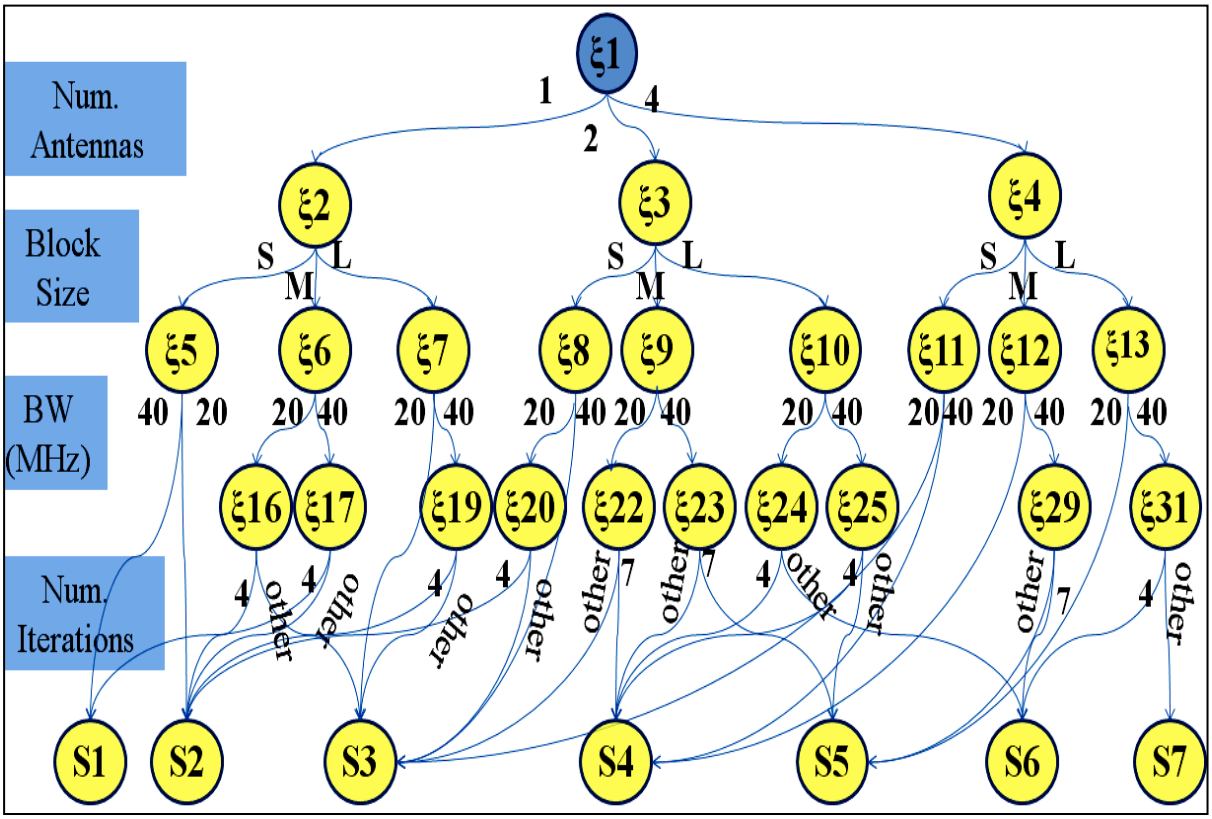


Figure 34. Διάγραμμα Απόφασης (Μετά τους Μετασχηματισμούς

Exec._id	Ex_1	Ex_2	Ex_3	Ex_4	Ex_5
Execution time with SC (sec)	9.968	8.520	9.747	9.876	9.966
Worst Case (sec)	128	128	128	128	128
Gain	92.2%	93.3%	92.38%	92.3%	92.2%

Πίνακας 5 Χρόνοι εκτέλεσης για 5 περιπτώσεις για1000 μπλοκς

4.3 Μελέτη Εργασίας ΙΙ

Η δεύτερη μελέτη εργασίας επικεντρώνεται στην αποτελεσματική διαχείριση της ισχύος σήματος σε ένα ασύρματο κινητό σύστημα, το οποίο υποστηρίζει μεταδόσεις βάση του WLAN (802.11n) πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Η ισχύς του σήματος αντιπροσωπεύει την πιο σημαντική ενεργειακή παράμετρο κόστους σε ένα ασύρματο σύστημα. Η προσαρμογή της ενέργειας σήματος μπορεί να εξοικονομήσει αξιοσημείωτους ενεργειακούς πόρους με επέκταση της διάρκεια ζωής της μπαταρίας του κινητού συστήματος. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας απαιτεί την εξερεύνηση όλων των πιθανών τρόπων λειτουργίας του συστήματος και την ιεράρχηση τους με βάση το χαρακτηρισμό τους. Η μεθοδολογία των σεναρίων συστήματος περιλαμβάνει τις αναγκαίες προϋποθέσεις για την εφαρμογή αποτελεσματικών λύσεων.

Το πρώτο στάδιο είναι η αναγνώριση και ο καθορισμός των μεταβλητών συστήματος. Το digital front-end της ασύρματης συσκευής εμπεριέχει πολλά πολύπλοκα υπο-συστήματα, συμπεριλαμβανομένων πολλών μεταβλητών, τόσο εσωτερικών όσο και εξωτερικών. Οι εσωτερικές μεταβλητές συσχετίζονται με την πλατφόρμα και περιλαμβάνουν: 1) την διαμόρφωση (MS), το οποίο καθορίζει την ανθεκτικότητα του σήματος θορύβου, 2), την κωδικοποίηση διόρθωσης σφαλμάτων, η οποία βελτιώνει την πραγματική απόδοση του εύρους ζώνης, 3) το εύρος ζώνης καναλιού (BW), το οποίο εκφράζει το πόσο γρήγορα τα μεταδιδόμενα σύμβολα μπορούν να μεταβάλλονται κάτι το οποίο αντιστοιχεί στη μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης καναλιού, 4) την ισχύ του σήματος, η οποία καθορίζει την εμβέλεια του δικτύου μετάδοσης και 5) τις προθεσμίες (deadlines) που ορίζονται από το χρονικούς περιορισμούς της εφαρμογή. Κάποια πρωτόκολλα επικοινωνίας μπορούν να έχουν επιπλέον μεταβλητές με βάση τις ειδικές προδιαγραφές τους (όπως τα διαστήματα (GI) που χρησιμοποιούνται στο πρωτόκολλο 802.11n για να διασφαλιστεί ότι διαφορετικές μεταδόσεις δεν παρεμβάλλονται μεταξύ τους). Οι εξωτερικές μεταβλητές περιλαμβάνουν κάθε παράμετρο περιβάλλοντος (πηγές θορύβου και παρεμβολής), οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργικότητα του συστήματος μας. Η συμπεριφορά του χρήστη είναι επίσης μια εξωτερική μεταβλητή, καθώς αν ένας χρήστης κινείται σε ένα κορεσμένο περιβάλλον ως προς την χρήση του φάσματος ή σε ένα περιβάλλον με έντονη δραστηριότητα άλλων συσκευών επικοινωνίας θα συναντήσει περισσότερες παρεμβολές καναλιού και επιδράσεις θορύβου από ένα στάσιμο χρήστη. Επιπλέον, εάν ο χρήστης κινείται ταχέως, π.χ. κινούμενος μέσα σε ένα αυτοκίνητο, μπορεί να επηρεάσει την αποδιαμόρφωση του εκπεμπόμενου σήματος (Doppler Effect).

Ο καθορισμός των RTS παραμέτρων απαιτεί τη μελέτη των εξαρτήσεων μεταξύ των μεταβλητών του συστήματος. Είναι σαφές ότι οι εξωτερικές και εσωτερικές μεταβλητές αλληλεπιδρούν σε κάθε αλλαγή του τρόπου λειτουργίας του συστήματος. Έτσι κάθε μεταβλητή μπορεί να είναι μια πιθανή παράμετρος RTS. Στην πραγματικότητα, οι παράμετροι κλειδιά που καθορίζουν την απόκριση του συστήματος είναι λίγες και επηρεάζουν τις τιμές των άλλων μεταβλητών του συστήματος. Για παράδειγμα, ο εξωτερικός θόρυβος επηρεάζει την επιλογή της διαμόρφωσης και του σχήματος κωδικοποίησης για συγκεκριμένη απαίτηση throughput. Εξετάζοντας τις μεταβλητές συστήματος αποκαλύπτεται ότι όλες έχουν άμεση ή έμμεση εξάρτηση από δύο παραμέτρους: 1) το επίπεδο του εξωτερικού θορύβου, η οποία είναι μη ελέγξιμη από το σύστημα, και 2) την αναγκαίο throughput, που ορίζεται από την εφαρμογή που εκτελείται. Αυτές οι δύο παράμετροι ενεργοποιούν τους τρόπους λειτουργίας του συστήματος και ορίζονται ως RTS παράμετροι. Όλες οι άλλες μεταβλητές αντιπροσωπεύουν τις παραμέτρους διαμόρφωσης και συντονισμού του συστήματος. Γνωρίζοντας τις παραμέτρους RTS μπορούμε να ορίσουμε τα RTSs. Μετά τον καθορισμό των RTSs το επόμενο βήμα είναι ο χαρακτηρισμό τους. Η διάσταση κόστους για το χαρακτηρισμό των RTSs είναι η κατανάλωση ενέργειας από την ισχύ του σήματος. Ένα θεμελιώδες όριο υπάρχει μεταξύ της ισχύ του σήματος και του απαιτούμενου throughput για ένα συγκεκριμένο επίπεδο του θορύβου σε κάθε ασύρματη μετάδοση. Το όριο αυτό ορίζεται από το θεώρημα Shannon-Hartley:

$$C = B\log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad \textbf{(8)}$$

Όπου C είναι η χωρητικότητα του διαύλου (ή throughput) σε bits ανά δευτερόλεπτο, B είναι το εύρος ζώνης του διαύλου σε hertz, S είναι η μέση λαμβανόμενη ισχύς σήματος, το οποίο μετράται σε watt ή volt2, N είναι η μέση ισχύς θορύβου ή παρεμβολής πάνω α, το οποίο μετράται σε watt ή volt2? και S / N είναι ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR).

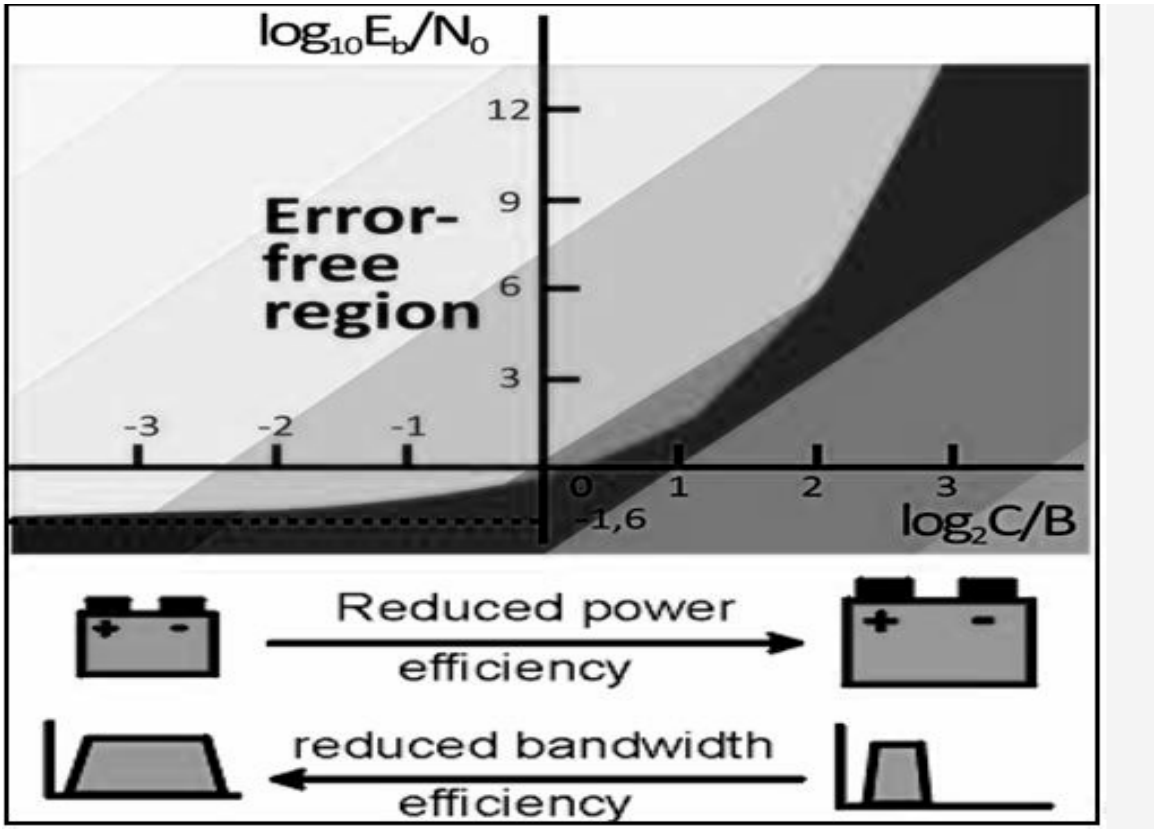
Αυτή η εξίσωση δείχνει ότι μια θεωρητική ελάχιστη τιμή SNR υφίσταται για την επίτευξη ενός στόχου throughput με συγκεκριμένο διαθέσιμο εύρος ζώνης καναλιού. Η ελάχιστη τιμή SNR για ένα συγκεκριμένο επίπεδο θορύβου καθορίζει την ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς σήματος για μια μετάδοση χωρίς σφάλματα. Για παράδειγμα, αν το διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι BW και το επίπεδο θορύβου είναι N_0, η θεωρητική ελάχιστη τιμή SNR για μια μετάδοση με ρυθμό δυαδικών ψηφίων C_b χωρίς σφάλματα είναι:

$$\mathbf{SNR \geq 10^{\frac{C_b}{B_w}} - 1} \quad \textbf{(9)}$$

Η μέση ισχύς σήματος, S, μπορεί να γραφεί ως $S=E_bC$, όπου E_b είναι η μέση ενέργεια ανά bit. Η μέση ισχύς θορύβου, N, μπορεί επίσης να επαναπροσδιοριστεί ως, $N=N_0B$, όπου N_0 είναι η πυκνότητα ισχύος του θορύβου (Watts/Hz). Το θεώρημα Shannon-Hartley μπορεί να γραφτεί με τη μορφή:

$$\boldsymbol{\frac{C}{B} = \log_2\left(1 + \frac{E_bC}{N_0B}\right)} \quad \textbf{(10)}$$

Ο λόγος C/B αντιπροσωπεύει την απόδοση του εύρους ζώνης του συστήματος σε bits/second/Hz Η γραφική αναπαράσταση του θεωρήματος Shannon-Hartley, βλ. Εικόνα 51, δείχνει σαφώς ότι το throughput αποτελεί αντικείμενο συμβιβασμού με την ενεργειακή απόδοση και το αντίστροφο. Η ανοικτή γκρίζα περιοχή είναι απαλλαγμένη από λάθη.



Εικόνα 35. Shannon–Hartley θεώρημα [37]

Γνωρίζοντας τα επίπεδα SNR, μπορούμε να χαρακτηρίσουμε την ενεργειακή απόδοση κάθε διαμόρφωσης (βάση της ελάχιστη επιτρεπτής ισχύος σήματος) για την επίτευξη του απαιτούμενου throughput. Εάν η διαμόρφωση υποστηρίζει πολλαπλές κεραίες, η συνολική ισχύς σήματος υπολογίζεται ως το άθροισμα του σήματος των αντίστοιχων κεραιών. Κάθε διαμόρφωση έχει ένα μέγιστο ρυθμό μετάδοσης bit με βάση την απαιτούμενο throughput. Κάθε συνδυασμός εξωτερικού θορύβου και throughput καθορίζουν μια ξεχωριστή περίπτωση RTS. Υποθέτοντας 5 επίπεδα θορύβου (100mWatt, 180mWatt, 220mWatt, 300mWatt, 380mWatt) και με το throughput να διακυμαίνεται από 0 έως 600Mbps (16 περιπτώσεις-τυποποίηση του 802.11n [44]), ο αριθμός των RTSs είναι ίσο με 80. Έχοντας μόλις 2 παραμέτρους RTSs και μόνο πέντε επίπεδα θορύβου το διάγραμμα απόφασης γίνεται σχετικά απλό για την εφαρμογή τ μετασχηματισμών. Ως εκ τούτου, η προτεινόμενη βελτιστοποίηση περιορίζεται στο επίπεδο βελτιστοποίησης της ομαδοποίησης. Στην πράξη, δεν υπάρχει εφαρμογή ενός ψηφιακού συστήματος επικοινωνιών που μπορεί να φτάσει την απόδοση που προτείνεται από την εξίσωση Shannon και τα περισσότερα υπολείπονται κατά 3 dB ή και περισσότερο. Η θέση μιας μετάδοσης στο διάγραμμα Εικόνα 51 ορίζεται από το

συνδυασμό της διαμόρφωσης και της κωδικοποίησης (MCS), που καθορίζεται από το επίπεδο SNR και την ισχύ του σήματος.

Αυτή η μελέτη περίπτωσης επικεντρώνεται στο πρωτόκολλο επικοινωνίας 802.11n. Ο πίνακας 1 παρουσιάζει τις παραμέτρους διαμόρφωσης του 802.11n. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου 802.11n [45] περιλαμβάνει δύο επιπλέον παραμέτρους από τις κλασικές: 1) υποστήριξη πολλαπλών MIMO σχημάτων, 2) διαστήματα (GI) για την αποφυγή παρεμβολών μεταξύ διακριτών μεταδόσεων.

Configuration Parameter	**Values**
Modulation scheme	BPSK, QAM, 16QAM, 64QAM
Coding Scheme	1/2, 2/3, 3/4, 5/6
BW (MHz)	20, 40
Spatial streams	1, 2, 3, 4
GI (ns)	400,800

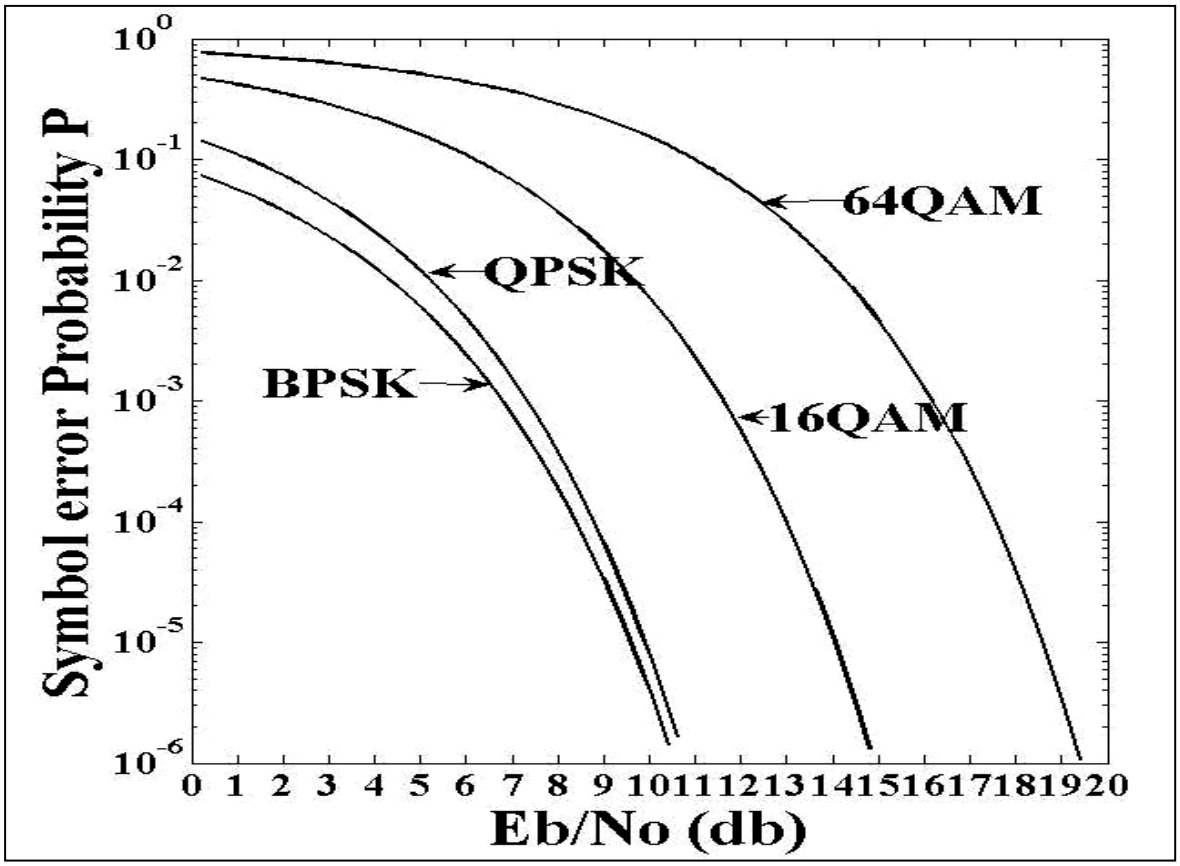
Πίνακας 6. 802.11n Παράμετροι διαμόρφωσης

Ο αριθμός των πιθανών διαμορφώσεων του συστήματος προέρχεται από τους συνδυασμούς των παραμέτρων του Πίνακα 4, και είναι ίσος με 256. Η τυποποίηση του 802.11n πρωτοκόλλου επικοινωνίας επιβάλλει περιορισμούς ως προς τους συνδυασμούς των παραμέτρων διαμόρφωσης και πιο συγκεκριμένα όσον αφορά την επιλογή των συστημάτων κωδικοποίησης και διαμόρφωσης. Έτσι, τα διαθέσιμα σχήματα διαμόρφωσης-κωδικοποίησης (MCs) για το 802.11n είναι τα ακόλουθα: BPSK -1/2, QPSK - 1/2, QPSK - 3/4, 16QAM - 1/2, 16QAM - 3/4, 64QAM - 2/3, 64QAM - 3/4, 64QAM - 5/6. Ως εκ τούτου, ο αριθμός των διαμορφώσεων του συστήματος μειώνεται από 256 σε 128. Η τυποποίηση του 802.11n πρωτόκολλο επικοινωνίας [44] παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα επιτευχθείσα throughput για κάθε συνδυασμό (MCs, η BW, MIMO, GI) διαμόρφωσης. Παραδείγματος χάριν μια μετάδοση με δύο χωρικές ροές (spatial streams) χρησιμοποιώντας MCs 16-QAM ½, με εύρος ζώνης 40 MHz και 800ns GI μπορούν να επιτύχουν ταχύτητες δεδομένων 108 Mbps. Η συσχέτιση με την ισχύ σήματος επιτυγχάνεται με την εκτίμηση της ελάχιστης SNR που επιτρέπει την εφαρμογή της επικοινωνίας χωρίς σφάλματα.

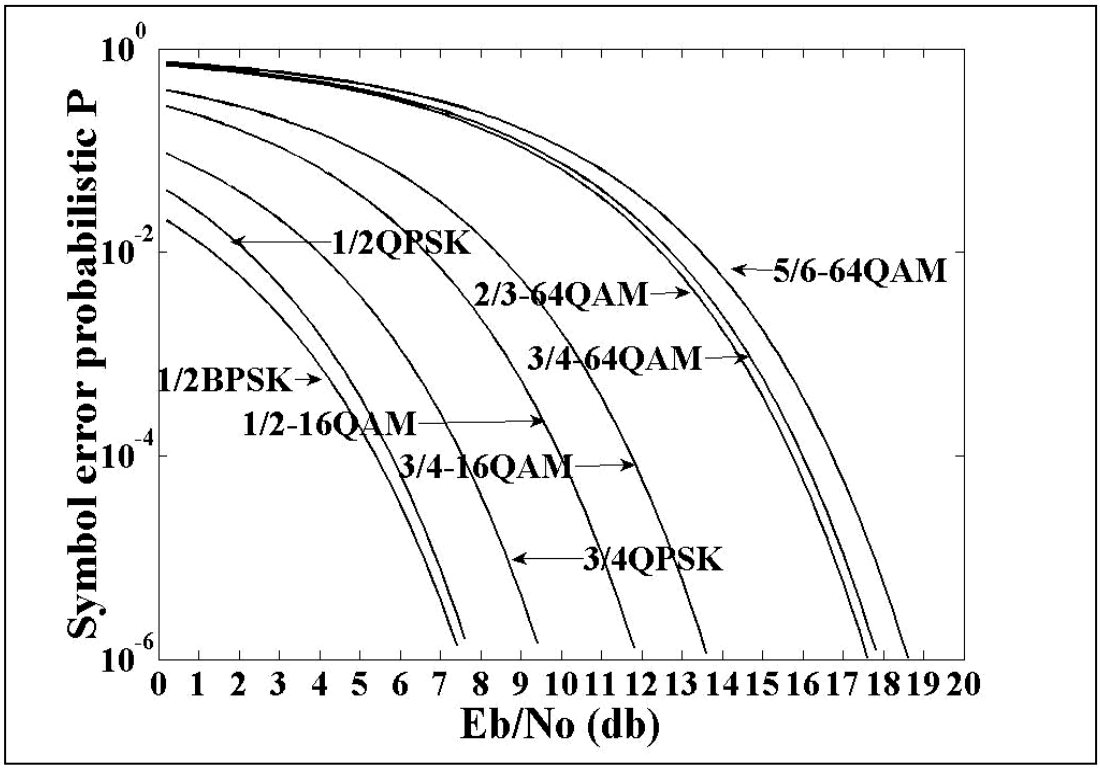
Η θεωρητική ελάχιστη τιμή SNR για μια χωρίς σφάλματα μετάδοση είναι αδύνατο να επιτευχθεί στην πράξη. Τα σχήματα διαμόρφωσης καθορίζουν πόσο κοντά σε αυτό το θεωρητικό SNRmin μπορεί να είναι η μετάδοση. Κάθε σχήμα διαμόρφωσης χαρακτηρίζεται από ένα ελάχιστο SNR που επιτρέπει την αποδιαμόρφωση των μεταδιδόμενων συμβόλων χωρίς σφάλματα. Γνωρίζοντας το ελάχιστο SNR για κάθε σχήμα διαμόρφωσης (MS), μπορούμε να ορίσουμε την ελάχιστη ισχύ σήματος για συγκεκριμένα επίπεδα θορύβου. Η εξίσωση που καθορίζει την πιθανότητα σφάλματος συμβόλου (Ps) κάθε MS, σε σχέση με SNR είναι η ακόλουθη:

$$P_{s,\ M\text{-}ary} = (M-1)/M]\cdot erfc(3/(M^2-1)]\cdot E_s\ average/N_0)^{1/2} \quad \textbf{(11)}$$

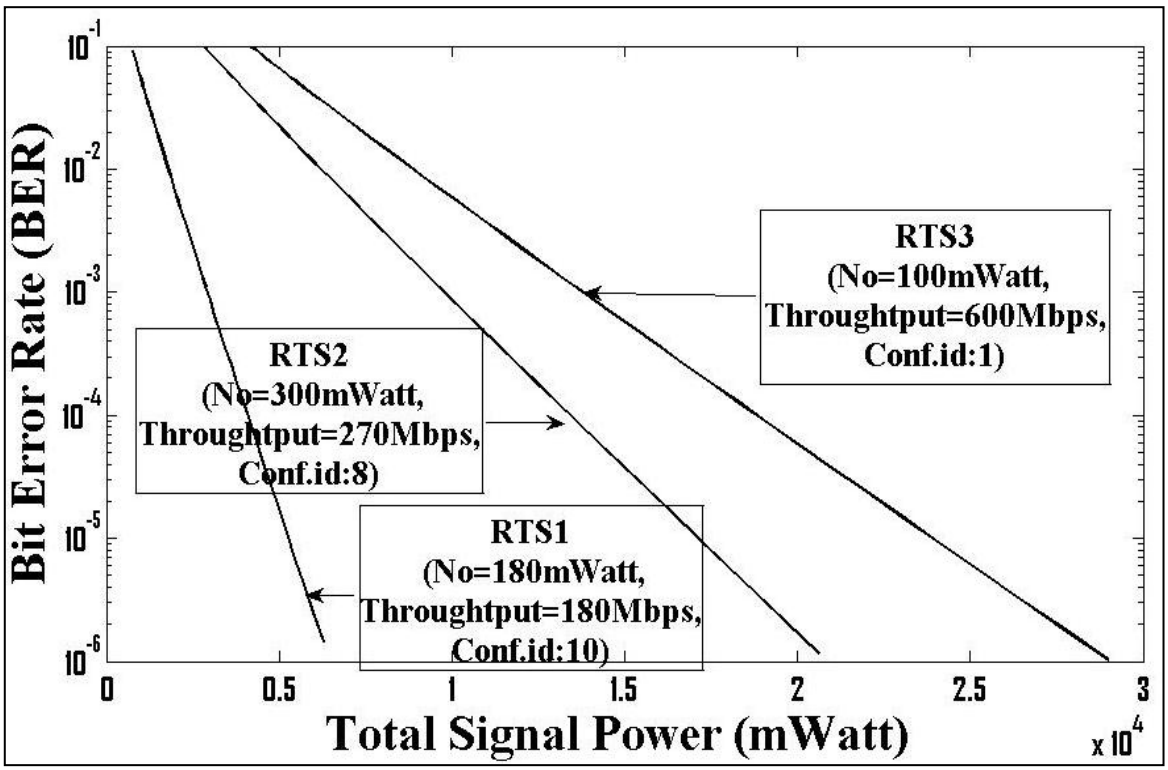
M: ο αριθμός των συμβόλων που χρησιμοποιούνται, Es: η μέση ισχύς του λαμβανόμενου σήματος, N_0 η μέση ισχύς σήματος θορύβου.



Εικόνα 36. Πιθανότητα σφάλματος συμβόλου για 802.11n σχήματα διαμόρφωσης



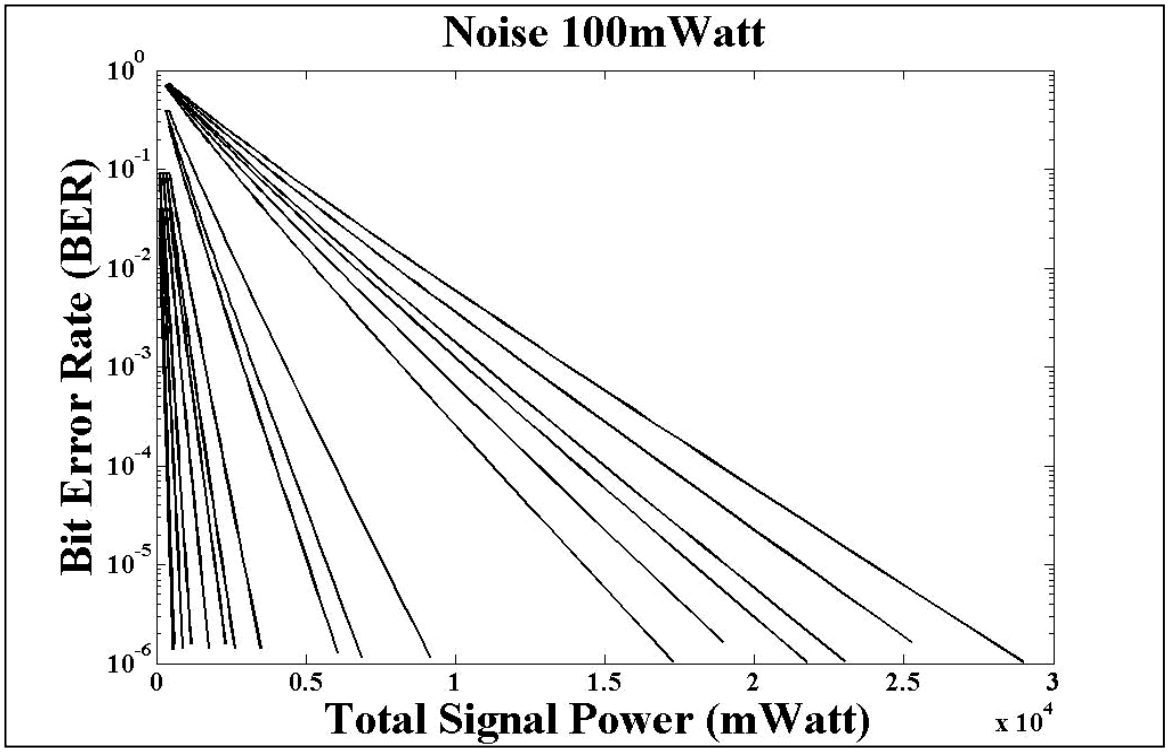
Εικόνα 37. Πιθανότητα σφάλματος συμβόλου για 802.11n σχήματα διαμόρφωσης-κωδικοποίησης



Εικόνα 38. Πιθανότητα σφάλματος bit για 802.11n σχήματα διαμόρφωσης-κωδικοποίησης

Η γραφική αναπαράσταση αυτής της εξίσωσης για τα σχήματα διαμόρφωσης του 802.11n παρουσιάζεται στην Εικόνα 52. Η Κωδικοποίηση καναλιού βελτιώνει την SNR κατά ένα συντελεστή R. Έτσι, οι καμπύλες μπορούν να κοινωνικοποιούνται για ίση ενέργεια ανά δυαδικό ψηφίο πληροφορίας (προ-κωδικοποίηση) λαμβάνοντας υπόψη ότι η ενέργεια ανά μεταδιδόμενο bit είναι μικρότερη από την ενέργεια ανά bit πληροφορίας κατά ένα συντελεστή ίσο με το ποσοστό κωδικοποίησης R. Η γραφική παράσταση της πιθανότητας σφάλματος συμβόλων για τα MCS του 802.11n, παρουσιάζονται στην Εικόνα 53. Κάθε RTS χαρακτηρίζεται από δύο διαστάσεις κόστους 1) την ισχύς σήματος και 2) τον ρυθμό σφαλμάτων δυαδικών ψηφίων (BER). Η ισχύς του σήματος είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την πιθανότητα σφάλματος συμβόλου και αντίστοιχα στην πιθανότητα σφάλματος bit, βλέπε Εικόνα 53 και Εικόνα 54. Κάθε RTS χαρακτηρίζεται από μία καμπύλη στο χώρο των δύο διαστάσεων της ισχύος σήματος και τα BER ορίζοντας ένα σύνολο 80 καμπυλών. Στην Εικόνα 54, εξαιτίας του περιορισμένου χώρου, παρουσιάζουμε 3 αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αυτών των RTS καμπυλών.

Μετά την ταυτοποίηση και τον χαρακτηρισμό των RTSs, συνεχίζουμε με την ομαδοποίηση τους σε σενάρια. Υποθέτοντας ότι τα RTSs είναι ισοπίθανα, το overhead ομαδοποίησης υπολογίζεται με τη μέση απόσταση μεταξύ των καμπυλών RTS. Η Εικόνα 55 απεικονίζει τις καμπύλες Pareto για επίπεδο θορύβου 100 mW και φαίνονται ότι οι καμπύλες Pareto δεν ισαπέχουν. Αυτή η διαφορά στις αποστάσεις θα χρησιμοποιηθεί για τη βέλτιστη ομαδοποίηση σε σενάρια. Αντίστοιχα για τα άλλα επίπεδα του θορύβου, έχουμε παρόμοιες κατανομές. Αν συνδυάσουμε τις καμπύλες για όλες τις περιπτώσεις με βάση τη μέση απόσταση, παίρνουμε 12 σενάρια συστήματος . Εάν η απαίτηση για BER είναι $\leq 10^{-6}$ μπορούμε να χαρακτηρίσουμε κάθε σενάριο, με μία ειδική ισχύ σήματος, η οποία σέβεται αυτόν τον περιορισμό.



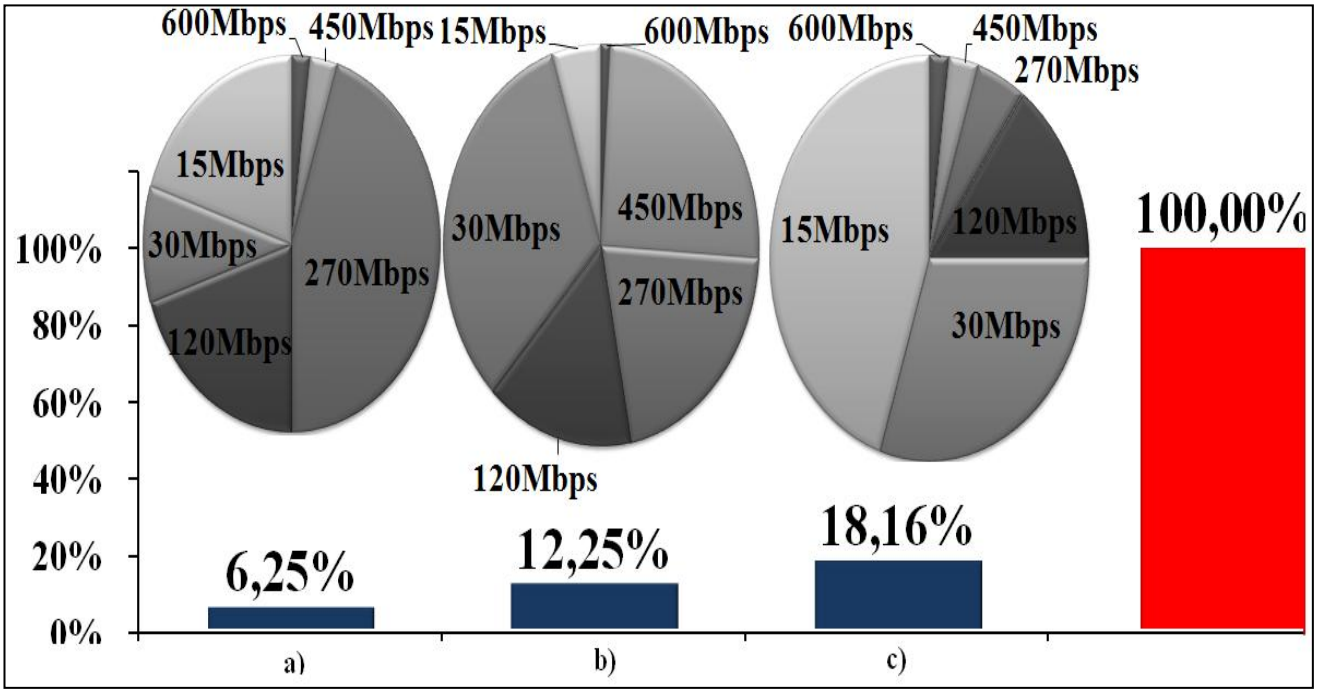
Εικόνα 39. Pareto καμπύλες- Θόρυβος 100mWatt

Η προσομοίωση της δοκιμαστικής εφαρμογής διάρκεσε 60 δευτερόλεπτα. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας σήματος υπολογίζεται από την εξίσωση 12. Οι Εικόνες 56 & 57 παρουσιάζουν κοινωνικοποιημένες τις καταναλώσεις ενέργειας για διαφορετικές μεταδόσεις με την ίδια συνολική διάρκεια (60sec) αλλά με διαφορετικές διάρκειες των απαιτήσεων throughput κατά τη μετάδοση. Η τελευταία στήλη (κόκκινη στήλη) είναι η κατανάλωση ενέργειας όταν η μετάδοση χρησιμοποιεί την μέγιστη ισχύ σήματος χωρίς τη χρήση σεναρίων και αντιπροσωπεύει την χειρότερη περίπτωση. Αυτή είναι προκαθορισμένη για όλες τις μεταδόσεις με την ίδια διάρκεια. Οι μπλε στήλες αντιστοιχούν στις μεταδόσεις, οι οποίες χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία σεναρίων προσαρμόζοντας την ισχύ του σήματος στο επίπεδο το οποίο επιτρέπει την υλοποίηση της σύνδεση με το απαιτούμενο throughput και το απαιτούμενο SNR. Το γράφημα πάνω από κάθε μπλε στήλη παρουσιάζει τους ρυθμούς throughput και την διάρκειας τους κατά την μετάδοση. Υποθέτουμε ότι κατά τη διάρκεια της μετάδοση ο εξωτερικός θόρυβος μεταβάλλεται με την ίδια πιθανότητα μεταξύ των επιπέδων (100mWatt, 180mWatt, 220mWatt, 300mWatt, 380mWatt).

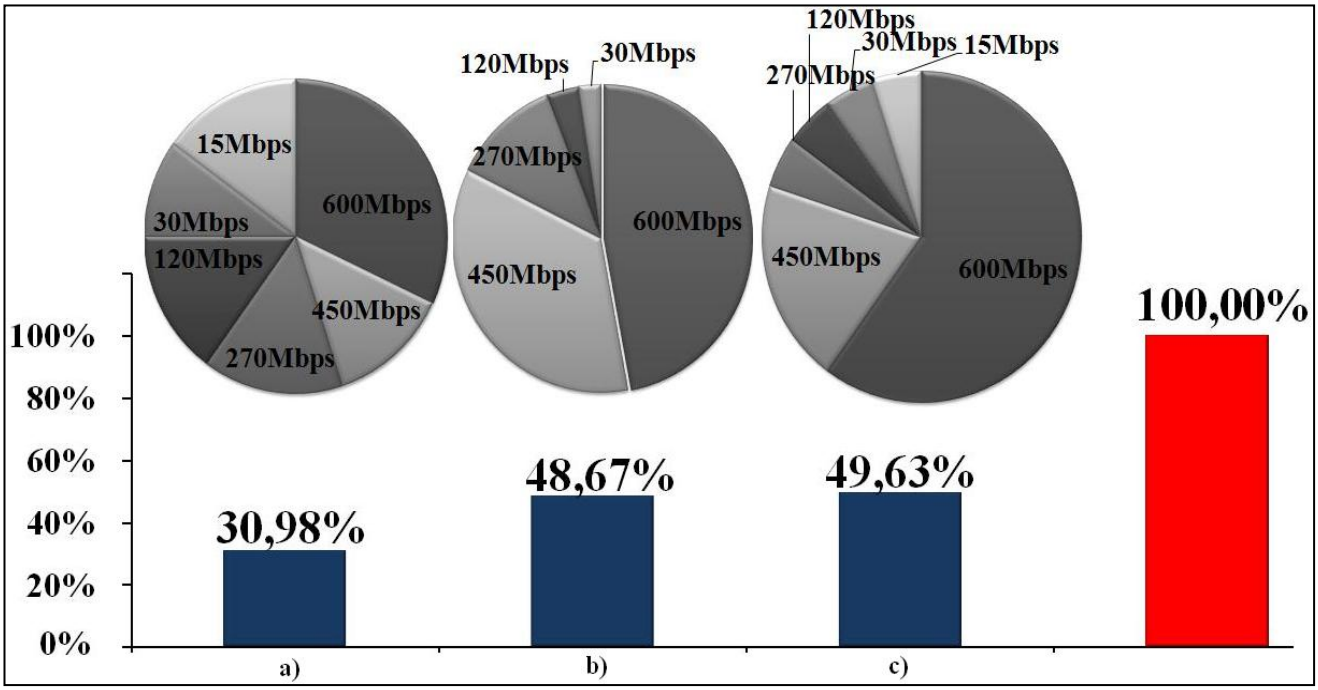
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τη χρήση και μη σεναρίων Για παράδειγμα, στην πρώτη μετάδοση, βλέπε Εικόνα 56 (a), όπου οι κύριοι ρυθμοί throughput είναι 270Mbps και 120 Mbps, έχουμε ένα κέρδος στην κατανάλωση ενέργειας του σήματος 93,75% (100% - 6,25%). Επίσης βλέπουμε στην πέμπτη μετάδοση, Εικόνα 57 (b), όπου οι κύριοι ρυθμοί throughput είναι 600Mbps και 450 Mbps το κέρδος πέφτει στο 51,33%. Αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι είναι πιο κοντά στην χειρότερη περίπτωση. Το ενεργειακό κέρδος κυμαίνεται μεταξύ (50,375-93,75%) με το μέσο ρυθμό throughput

$$\mathbf{E_c = \int_0^T (SignalPower) \times dt} \quad (12)$$

Ec: Συνολική κατανάλωση ενέργειας, T Διάρκεια της μετάδοσης του σήματος.



Εικόνα 40. Κατανάλωση ενέργειας για διαφορετικές κατανομές throughput



Εικόνα 41. Κατανάλωση ενέργειας για διαφορετικές κατανομές throughput

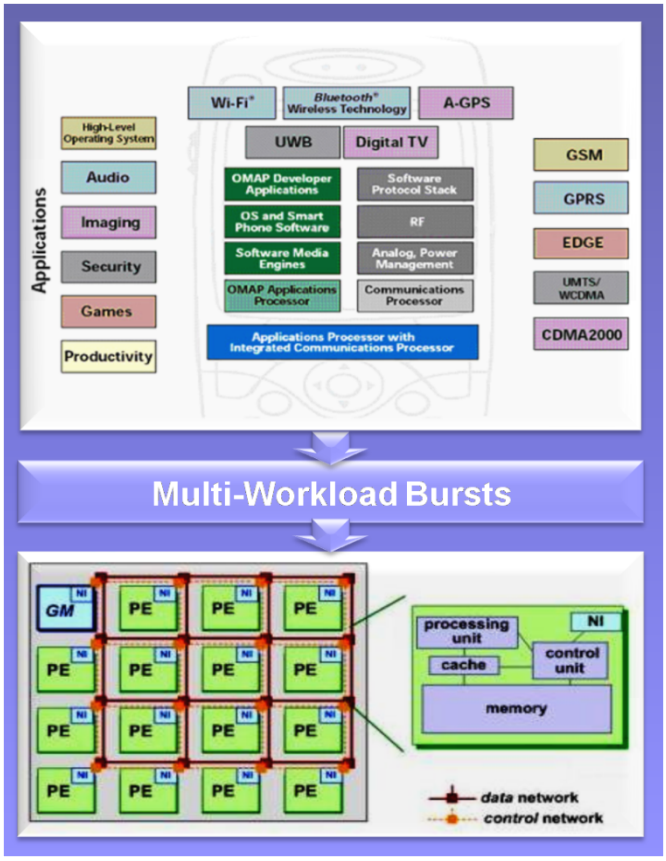
4.4 Συμπεράσματα και Παρατηρήσεις

Σε αυτό το κεφάλαιο, χρησιμοποιήσαμε την ευελιξία ενός πλαισίου προσομοίωσης για να διαχειριστούμε την πολυπλοκότητα του σχεδιαστικού χώρου μίας ασύρματης εφαρμογής, εφαρμόζοντας την θεωρία σεναρίων συστήματος σε δύο μελέτες εργασίας. Ο στόχος ήταν να επιτευχθεί μια αποτελεσματική χρησιμοποίηση των πόρων διατηρώντας το κόστος αναδιαμόρφωσης σε λογικά επίπεδα. Ακριβέστερα, κατά την πρώτη μελέτη εργασίας, χρησιμοποιώντας ένα WLAN πρωτόκολλο επικοινωνίας, πετύχαμε μια μείωση των «αδρανών» χρόνων (idle time) κατά μέσο όρο 92% σε σύγκριση με την χειρότερη περίπτωση. Στην δεύτερη μελέτη εργασίας, εφαρμόζουμε μια τεχνική προσαρμογής της ισχύς του σήματος κλιμάκωση με βάση το τρέχον σενάριο μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας στις κεραίες 50-94%. Τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά και δείχνουν ότι η μεθοδολογία σεναρίων συστήματος είναι εφαρμόσιμη σε δυναμικά ασύρματα συστήματα και μπορεί να αντιμετωπίσει την πολυπλοκότητα τους.

5. Ανάλυση Φόρτου Εργασίας (Workload)

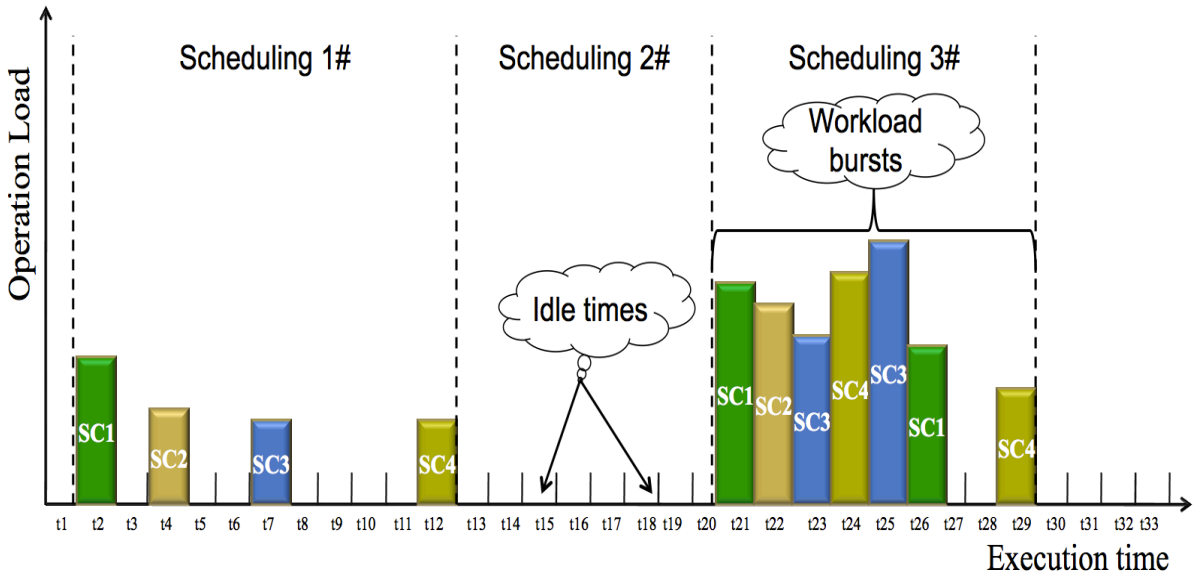
5.1 Εισαγωγικά

Τα σύγχρονα ασύρματα συστήματα χαρακτηρίζονται από δυναμικούς φόρτους εργασίας (workloads), λόγω της εισαγωγής πολλαπλής λειτουργικότητας σε μία συσκευή (βλέπε Εικόνα 58). Τα προηγούμενα κεφάλαια, επικεντρώνονται στην ανάλυση των καταστάσεων λειτουργίας (RTSs) και στην ιεράρχηση τους σε σενάρια συστήματος. Πολλές φορές ένας διαχειριστής πραγματικού χρόνου πρέπει να δράσει προληπτικά για την αποτελεσματική εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων. Προϋπόθεση γιαυτό αποτελεί η γνώση τόσο των τρεχουσών όσο και των μελλοντικών καταστάσεων του συστήματος. Έτσι, η βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων δεν εξαρτάται μόνο από το τρέχον σενάριο του συστήματος, αλλά και από τα σενάρια τα οποία θα ακολουθήσουν. Ο χρόνος εκτέλεσης μίας διεργασίας είναι ανάλογος του φορτίο λειτουργίας της (workload). Αυτό σημαίνει ότι μια ανάλυση και μια πρόβλεψη του φόρτου εργασίας μπορεί να δώσει μια αξιόπιστη εκτίμηση της διάρκειας εκτέλεσης. Σκοπός είναι η προετοιμασία του συστήματος για να αντιμετωπίσει παροδικές υπερφορτίσεις, κάτι που μπορεί να αποδειχθεί ευεργετικό από άποψη πόρων.



Εικόνα 42 Πολλαπλά Workload

Για παράδειγμα, υποθέτουμε μια εκτέλεση λειτουργίας, στην οποία εμφανίζονται τέσσερα κύρια σενάρια συστήματος. Αν υποθέσουμε ότι η αλληλουχία των σεναρίων είναι όπως αυτή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 59, μπορούμε να διακρίνουμε τρεις κύριες περιόδους εκτέλεσης. Η πρώτη (t2-t12), είναι μία αρκετά ενεργή περίοδος με χαμηλά φορτία λειτουργίας, η δεύτερη (t12-t20), είναι τελείως ανενεργή και η τρίτη (t20-t29), αντιπροσωπεύει μία πολύ ενεργή περίοδος με υψηλά φορτία λειτουργίας. Είναι προφανές ότι ένα διαχειριστής θα ακολουθήσει διαφορετικές στρατηγικές για τις τρεις περιόδους. Η μεθοδολογία σεναρίων συστήματος μπορεί να προσαρμόζει το σύστημα για την τρέχουσα λειτουργική κατάσταση. Από την άλλη πλευρά, για να έχουμε τη βέλτιστη αξιοποίηση πόρων κατά τη διαμόρφωση του συστήματος θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τις μελλοντικές καταστάσεις. Έτσι, στην πρώτη περίπτωση, αν γνωρίζουμε ότι ακολουθείται μια ανενεργή περίοδος ετοιμάζουμε το σύστημα για μια κατάσταση αναμονής. Αντιστοίχως, στο τέλος της δεύτερης περιόδου, δίνουμε ιδιαίτερη προσοχή στην κατανομή των πόρων δίνοντας έτσι την ευκαιρία στο σύστημα να αντιμετωπίσει τις εισερχόμενες καταστάσεις υπερφόρτωσης. Ο σκοπός είναι να διατηρηθεί μια ισορροπία στην χρήση των πόρων αποφεύγοντας την ενεργοποίηση του σενάριο χειρότερης περίπτωσης που έχει υψηλό κόστος για το σύστημα.



Εικόνα 43. Προγραμματισμός Πόρων

Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει ένα συστηματικό τρόπο εντοπισμού πιθανών παροδικών υπερφορτώσεων εξισορροπώντας την χρήσης των πόρων. Για να το επιτύχουμε αυτό χρησιμοποιούμε μια μεθοδολογία ανάλυσης φόρτου εργασίας που συνδυάζει προηγμένα μαθηματικά εργαλεία από την Θεωρία του Χάους, που επιτρέπουν τον χειρισμό δυναμικών δεδομένων με πολύπλοκη συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα, ο στόχος της προσέγγισής μας είναι να προβλεφθούν τα "κρίσιμα σημεία" που αντιπροσωπεύουν τις ασταθείς καταστάσεις ενός ασύρματου συστήματος εφαρμόζοντας αποτελεσματικές πολιτικές προγραμματισμού.

5.2 Workload Analysis Methodology

Η προτεινόμενη ανάλυση φόρτου εργασίας βασίζονται σε σύγχρονες μη-γραμμικές αναλύσεις χρονοσειρών που προτείνεται από τον Pavlos et al [41]. Ο κύριος σκοπός της ανάλυσης χρονοσειρών είναι να εξάγει σημαντικές πληροφορίες για δυναμικές εφαρμογές και συστήματα, καθώς και την ανάπτυξη μεθόδων μοντελοποίησης και πρόβλεψης. Στη συνέχεια θα υποθέσουμε ότι οι εκρήξεις φόρτου εργασίας (workload burst) προκαλείται από μία εσωτερική δυναμική του όλου συστήματος του δικτύου σύμφωνα με την γενική μαθηματική μορφή:

$$\frac{d\vec{X}}{dt} = \vec{F}(\vec{X}, \lambda, w) \quad (13)$$

Όπου $\vec{X}(t)$ είναι το διάνυσμα κατάστασης του υποκείμενου συστήματος φόρτου εργασίας, το λ είναι μια εξωτερική παράμετρος της δυναμικής και w (t) είναι μία συνιστώσα θορύβου.

Για διαφορετικά λ μπορούμε να παρατηρήσουμε διαφορετική δυναμική: σταθερή, ασταθής, περιοδική ή χαοτική. Το $\vec{F}$ περιγράφει τη ροή της δυναμικής στο χώρο κατάστασης.

Κάθε σήμα που παρατηρείται εξαρτάται από το διάνυσμα κατάστασης:

$$y(t_i) = f(\vec{X}(t_i)) \qquad (14)$$

Το φάσμα ισχύος P(ω) της παρατηρούμενης χρονοσειράς αποκαλύπτει αν η εσωτερική δυναμική είναι περιοδική, οιονεί περιοδική ή τυχαία με ένα φάσμα ευρείας ζώνης. Στην τελευταία περίπτωση, η δυναμική μπορεί να είναι χαοτική (τυχαία με διάσταση) ή στοχαστική (τυχαία με άπειρη διάσταση). Η περίπτωση της χαμηλής διάστασης χάους αντιστοιχεί σε μια μη-γραμμική ροή F. Οι μη-γραμμικές δυναμικές μπορεί να σχετίζονται με περιοδικούς ή μη-περιοδικούς (περίεργος) ελκυστές στον αρχικό χώρο κατάστασης που χαρακτηρίζονται από χαμηλή διάσταση fractal [17]. Κλασικά οι χρονοσειρές αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της μοντελοποίησης και πρόβλεψης με τη χρήση γραμμικών ή μη γραμμικών μεθόδων εισόδου-εξόδου. Από την άλλη πλευρά η σύγχρονη ανάλυση χρονοσειρών, που ονομάζεται χαοτική ανάλυση, περιλαμβάνει [17]: (α) εκτίμηση των γεωμετρικών και δυναμικών χαρακτηριστικών της τροχιάς του συστήματος στο χώρο φάση του (β) τεχνικές για τη διάκριση των χαμηλών διαστάσεων μη γραμμικού ντετερμινισμού από τις γραμμικές στοχαστικές διεργασίες και (γ) αλγορίθμους πρόβλεψης. Οι παραπάνω μέθοδοι αποτελούν τον πυρήνα του αλγορίθμου χαοτικής ανάλυσης. Αυτός ο αλγόριθμος έχει εμπλουτιστεί πρόσφατα από νέα αποτελέσματα σχετικά με την εφαρμογή της χαοτικής ανάλυσης σε γνωστά στοχαστικά συστήματα και συστήματα εισόδου-εξόδου με τη χρήση της SVD ανάλυσης για την κατασκευή των διαγράμματος SVD ανακατασκευάζοντας τα συστατικά μιας πειραματικής χρονοσειράς. Η χαοτική ανάλυση χρονοσειρών αναπτύσσεται στο ανακατασκευασμένο χώρο φάσεων, σύμφωνα με τη γενική θεωρία της Takens [80]. Ο ανακατασκευασμένος χώρος καταστάσεων είναι ένας φυσικός καθρέφτης του αρχικού χώρου καταστάσεων συμπεριλαμβανομένων των ανακατασκευασμένων διανυσμάτων χρησιμοποιώντας τις παρατηρούμενες χρονοσειρές σύμφωνα με τη σχέση:

$$\vec{\xi}(t_i) = \{y(t_i), y(t_i + \tau), ..., y(t_i + (m-1)\tau)\} \qquad (15)$$

m είναι η διάσταση της ανακατασκευασμένης χώρο κατάστασης και τ είναι η κατάλληλη χρονική καθυστέρηση.
Τα βήματα της ανάλυσης φόρτου εργασίας που εφαρμόζεται στο πλαίσιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι τα εξής:

1. **Καθορισμός χρονοσειρών**. Αρχικά, εξάγετε η χρονοσειρά με την ροή δεδομένων που ελέγχει την συμπεριφορά της εφαρμογής. Η υπό μελέτη χρονοσειρά είναι το μέγεθος των πακέτων που αποστέλλονται κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου T. Ειδικότερα, η χρονοσειρά που χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αποτελείται από 868.000 μετρήσεις. Αυτή χωρίζεται σε 217 τμήματα, όπου κάθε τμήμα περιέχει 4000 μετρήσεις. Για κάθε ένα από αυτά τα τμήματα εφαρμόζονται τα παρακάτω εργαλεία που εκτελούν α) έλεγχο αυτοσυσχέτισης Β) εντροπία Shannon Γ) ισχύ σήματος Δ) εκθέτης Hurst Ε) διάσταση συσχέτισης και στ) πρόβλεψη.

2. **Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας.** Το φάσμα ισχύος P (ω) και η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης C (τ) του σήματος σχετίζονται σύμφωνα με το θεώρημα Wiener - Khintchine:

$$P(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} C(\tau) e^{-i\omega\tau} dt \quad \textbf{(16)}$$

Το φάσμα ισχύος P (ω) ενός σήματος μπορεί να δείξει εάν ένα σύστημα είναι περιοδικό ή οιονεί περιοδικό, αλλά δεν μπορεί να δώσει καμία πληροφορία για το φάσμα ευρείας ζώνης. Επίσης, η κλασική ανάλυση χρονοσειρών δεν μπορεί να διακρίνει μεταξύ των δύο περιπτώσεων: α) υψηλών διαστάσεων γραμμικής δυναμικής ή στοχαστική μη-γραμμική δυναμικής και β) χαμηλής διαστάσεως χαοτική δυναμική, καθώς και στις δύο περιπτώσεις μπορούμε να παρατηρήσουμε ευρυζωνικό φάσμα ισχύος.

3. **Υπολογισμός του συντελεστή Hurst.** Ο συντελεστής Hurst μπορεί να καθορίζεται από τις ιδιότητες κλιμάκωσης της χρονοσειράς σύμφωνα με τη σχέση:

$$< \left| x(t+\tau) - x(t) \right|^q >_T \sim \tau^{qH(q)} \quad (17)$$

όπου q> 0, T είναι ο χρόνος υστέρησης. Οι τιμές του συντελεστή Hurst έχουν εύρος μεταξύ 0 και 1 που αντιστοιχούν σε χρονοσειρές που προέρχονται από την κλασματική κίνηση Brownian. Στην περίπτωση που H = 1/2 είναι η συνήθης κίνηση Brownian (λευκός θόρυβος), η οποία έχει ανεξάρτητες αυξήσεις. Για H> 1/2, υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των χρονικών αυξήσεων της χρονοσειράς. Για H <1/2, υπάρχει μια αρνητική συσχέτιση μεταξύ των χρονικών αυξήσεων της χρονοσειράς. Η θετική αυτοσυσχέτιση που αντιστοιχεί στο 1/2 <H <1 δείχνει σταθερή συμπεριφορά της χρονοσειράς, ενώ για τιμές H μεταξύ 0 <H <1/2 δείχνει μη-σταθερή συμπεριφορά (αρνητική αυτοσυσχέτιση) [60].

4. **Συντελεστής coefficient.** Ο συντελεστής coefficient F των χρονοσειρών δείχνει την απόκλιση από την Gaussian κατανομή που αντιστοιχεί σε καθαρά τυχαία δεδομένα. Θα μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση της εξίσωσης:

$$F = \frac{< \delta y_\tau(t)^4 >}{< \delta y_\tau(t)^2 >^2} \quad \textbf{(18)}$$

Για τυχαία (Gaussian) διαδικασία ο F συντελεστής ισούται με την τιμή 3. Για Χαοτικά χαρακτηριστικά εμφανίζονται βαριές «ουρές» των συναρτήσεων διανομής. Στην περίπτωση αυτή, ο συντελεστής F είναι μεγαλύτερος από 3.

5. **Χρόνος αποσυσχέτισης.** Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης εφαρμόζεται για κάθε τμήμα, έξω από τα 217, της χρονοσειράς. Αυτή δίνει την πληροφορία στο σχεδιαστή για το αν υπάρχουν γραμμικές συσχετίσεις και περιοδικότητα στο σήμα. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης δίνει παρόμοιες πληροφορίες με το φάσμα ισχύος Fourier, αλλά στο πεδίο του χρόνου. Από τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης ορίζεται ο μη συσχετιζόμενος χρόνος του σήματος. Ο χρόνος απόσυσχέτισης που είναι ο χρόνος για τον οποίο η χρονοσειρά δεν παρουσιάζει περιοδικότητα. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης, παρέχει μόνο την γραμμική συσχέτιση του σήματος με τον εαυτό του, συνεπώς, δεν ελέγχει την μη-γραμμικότητα.

6. **Διάσταση συσχέτισης.** Η διάσταση συσχέτισης D αποκαλύπτει τους βαθμούς ελευθερίας της δυναμικής και μπορεί να εκτιμηθεί στο ανακατασκευασμένο χώρο κατάστασης σύμφωνα με την εξίσωση:

$$D = \lim_{\tau \to 0, m \to \infty} \frac{d \ln C^m(r)}{d \ln(r)} \quad (19)$$

$$C^m(r) : \; r^{d(m)} \quad (20)$$

Όταν η χρονοσειρά σχετίζεται με ένα χαμηλών διαστάσεων σύστημα δυναμικών το d(m) καταλήγει σε μια τελική τιμή του D με αρκετά μεγάλη ενσωματωμένη διάσταση m. Οι βαθμοί ελευθερίας των δυναμικών δεν μπορεί να είναι μικρότεροι από το D ή υψηλότερη από 2D+1. Όταν τα slopes d(m) των ολοκληρωμάτων συσχέτισης αποκαλύπτουν σταθεροποίηση σε χαμηλές τιμές του r τότε αυτό αποτελεί ισχυρή απόδειξη για χαμηλή διάσταση της δυναμικής για το παρατηρούμενο σήμα. Η στοχαστική συνιστώσα συμπεριφέρεται όπως ο θόρυβος και κάνει την παραγωγή αξιόπιστων διαστάσεων δύσκολη.

7. **Εκτίμηση των εκθετών φάσματος Lyapunov**. Η Χαοτική δυναμικότητα προκαλείται από θετικούς εκθέτες Lyapunov. Το φάσμα των εκθετών Lyapunov μετρά το ρυθμό σύγκλισης ή απόκλισης των τροχιών σε όλες τις κατευθύνσεις d του χώρου φάσεων [75]. Ένας θετικός εκθέτης Lyapunov υποδεικνύει απόκλιση των τροχιών σε μία κατεύθυνση, ή εναλλακτικά επέκταση ενός αρχικού μεγέθους σε αυτή την κατεύθυνση, και ένας αρνητικός εκθέτης Lyapunov υποδεικνύει σύγκλιση των τροχιών ή συστολή του μεγέθους κατά μήκος μίας άλλης κατεύθυνσης. Για ροές, υπάρχει πάντα ένας μηδενικός εκθέτη Lyapunov που αντιστοιχεί στην κατεύθυνση της ροής. Έτσι οι εκθέτες Lyapunov όταν είναι θετικοί υποδηλώνουν την ύπαρξη χάους για ένα ντετερμινιστικό σύστημα. Το φάσμα των εκθετών Lyapunov μπορεί να εκτιμηθεί σε μία χρονοσειρά παρακολουθώντας την εξέλιξη των μικρών διαταραχών της ανακατασκευασμένης τροχιάς, κάνοντας χρήση μίας γραμμικοποιημένης προσέγγισης. Η εξέλιξη του φορέα μετατόπιση μεταξύ των γειτονικών σημείων x (i) και x(i) + w(i) στο χώρο ανακατασκευασμένη φάσης δίνεται από την εξίσωση:

$$w(i+1) = DF(x(i))w(i) \quad (21)$$

όπου DF υποδηλώνει το παράγωγο πίνακα του F. Μια τοπική προσέγγιση του πίνακα DF μπορεί να βρεθεί με την ελαχιστοποίηση της ακόλουθης συνάρτησης

$$\min_{A_i} S = \min_{A_i} S \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} \left\| w_j(i+1) - A_i w_j(i) \right\| \quad (22)$$

όπου k είναι ο αριθμός των γειτόνων του x(i) όσο αναφορά k διαφορετικές διαταραχές, j = 1, ..., k, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του $A_i \equiv DF$του σημείου x(i). Το φάσμα Lyapunov βρίσκεται με επανάληψη αυτής της διαδικασίας για όλα τα N ανασχηματισμένα σημεία x(i),i=1,...,N, το οποίο δίνεται από:"

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^{N} \log \left\| A_i e_j^i \right\|, \; j = 1, 2, ..., d \quad (23)$$

όπου $\{e_j^i\}$ είναι μια νέα σειρά από ορθογώνια διανύσματα που παράγονται από ορθογωνοποίηση των διανυσμάτων κατά τη στιγμή i, προκειμένου να διατηρούν την τοπική ορθογωνικότητα που εκτείνεται στο χώρο των καταστάσεων. Για την εκτίμηση του μέγιστου εκθέτη Lyapunov (Lmax) χρησιμοποιούμε την εξίσωση:

$$L_{\max} = \lim_{\substack{t \to \infty \\ d(t) \to 0}} \frac{1}{t} \ln \left[\frac{d(t)}{d(0)} \right] \quad (24)$$

όπου $d(t) = \left| x_2(t) - x_1(t) \right|$ μετρά την απόσταση μεταξύ γειτονικών σημείων στον ανακατασκευασμένο χώρο φάσεων

8. **Εκτίμηση mutual information και εντροπία Shannon**. Τα χαοτικά ή στοχαστικά δυναμικά συστήματα μπορούν να περιγραφούν χρησιμοποιώντας την έννοια της πληροφορίας. Σε αυτό το πεδίο μπορούμε να υποθέσουμε ότι η τυχαία συμπεριφορά του συστήματος είναι η υλοποίηση του πλαισίου Shannon ώς πηγή πληροφοριών. Αν S είναι κάποια ιδιότητα του δυναμικού συστήματος και si, i = 1, 2,. . . πιθανές τιμές του S, τότε η μέση ποσότητα των πληροφοριών που αποκτήθηκε από μια μέτρηση που καθορίζει S δίνεται από την εντροπία:

$$H(S) = -\sum_i P(s_i) \log P(s_i) \quad (25)$$

όπου P (si) είναι η πιθανότητα ότι το S ισούται si και ο αλγόριθμος λαμβάνεται ώς προς βάση το 2. Μια εκτίμηση του P (si) δίνεται από το n(si)/nT, όπου n (si) είναι ο αριθμός των φορών που η αξία si παρατηρείται, και nT είναι ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων.

Η ίδια έννοια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί η ποσότητα των πληροφοριών για την μέτρηση της ποσότητας S από τη μέτρηση μίας άλλης παρατηρήσιμης ποσότητα Q. Η έννοια αυτή αποτελεί την βάση για τον ορισμό των mutual information. Για μια χρονοσειρά, θεωρούμε ένα γενικό συζευγμένο σύστημα (S, Q) με Q = {χ (i)} και S = {X (i +1)}, όπου x (i), x (i +1) αντιστοιχεί σε δείγματα από ενός δυναμικού συστήματος σε διακριτούς χρόνους ti και ti+1. Η υπό συνθήκη βεβαιότητα S δεδομένου ότι Q = qi ορίζεται ως εξής:

$$H(S / Q = q_i) = -\sum_i P(s_j / q_i) \log P(s_j / q_i) \quad (26)$$

όπου P (sj / qi) είναι η υποσυνθήκη πιθανότητα του $S=S_J$, δεδομένου ότι Q = qi. Έτσι, ορίζουμε την υποσυνθήκη αβεβαιότητα του S δεδομένου Q ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των αβεβαιοτήτων.

$$H(S / Q = q_i) \quad (27)$$

όπου

$$H(S/Q) = \sum_{q_j} P(s_j / q_i) \log P(s_j / q_i) \quad (28)$$

από το γεγονός $P(q_i, s_j) = P(q_i) P(s_j / q_i)$ (29)

έχουμε

$$H(S/Q) = -\sum_{q_i} \sum_{s_j} P(q_i, s_j) \log P(s_j / q_i) = H(Q,S) - H(Q) \quad (30)$$

Το σύνολο κατά το οποίο μια μέτρηση Q μειώνει την αβεβαιότητα της S (μέση mutual information) δίνεται από τη σχέση:

$$I_{SQ} = H(S) - H(S/Q) = H(S) + H(Q) - H(Q,S) \quad (31)$$

Εάν αυτή η σχέση αυτή εφαρμοστεί σε χρονοσειρές οδηγεί σε:

$$\begin{aligned} I(\tau) &= -\sum_{x(i)} P(x(i)) \log_2 P(x(i)) \\ &- \sum_{(x(i-\tau))} P(x(i-\tau)) \log_2 P(x(i-\tau)) \\ &+ \sum_{x(i)} \sum_{x} (i-\tau) P(x(i), x(i-\tau)) \log_2 P(x(i), x(i-\tau)) \end{aligned} \quad (32)$$

9. **Μοντελοποίηση και πρόβλεψη.** Οι παρατηρήσιμες πληροφορίες X(ti) για τη χρονική εξέλιξη της τροχιάς στο ανακατασκευασμένο χώρο καταστάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός χάρτη πρόβλεψης F(X(ti)) για χρονικά διαστήματα με βήματα T προς τα εμπρός, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\boldsymbol{y(t_i + T) = F^T \left(X^\Gamma (t_i) \right)} \quad (33)$$

όπου y (t_i + T) αντιστοιχεί στις προβλεπόμενες τιμές των παρατηρούμενων χρονοσειρών $y(t_i)$. Ο χάρτη πρόβλεψης F που έχει κατασκευαστεί στο χώρο

κατάστασης μπορεί να προσεγγιστεί με διαφορετικές λειτουργικές μορφές. όπου y (t_i + T) αντιστοιχεί στις τιμές πρόβλεψης της χρονοσειράς

10. **Κατασκευή surrogate δεδομένων και στατιστικές διάκρισης**. Σύμφωνα με τα προηγούμενα βήματα, οι ιδιότητες κλιμάκωσης της συσχέτισης ως r! 0 και ο κορεσμός του εκθέτη κλιμάκωσης d (m)! D με την αύξηση του m είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την ύπαρξη στην πειραματική χρονοσειρά χαμηλών διαστάσεων δυναμικής. Ωστόσο, έχει αποδειχθεί ότι οι προϋποθέσεις αυτές δεν είναι επαρκείς για να καταλήξουμε σε χαμηλή διαστάσεων δυναμική μίας χρονοσειράς με broad-band φάσματος ισχύος, δεδομένου ότι μπορούν επίσης να ικανοποιούν τις προϋποθέσεις για στοχαστικά συστήματα. Επιπλέον, η έννοια της χαμηλής διάστασης συσχέτισης μπορεί να εφαρμοστεί σε χρονοσειρές με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος δηλώνει τον αριθμό των βαθμών ελευθερίας, και ο δεύτερος ποσοτικοποιεί την «αυτο-συγγένεια» (self-affinity) της τροχιάς διαμέσου του χώρου φάσης. Στην πρώτη περίπτωση, η κλιμάκωση και το προφίλ κορεσμού προκαλούνται από τον επαναλαμβανόμενο χαρακτήρα της ανακατασκευασμένης τροχιάς, δηλαδή ασυσχέτιστη με το "χρόνο" και συσχετιζόμενο με τα σημεία του "χώρου" κατάστασης. Στη δεύτερη περίπτωση, προκαλούνται από το χρόνο συσχετιζόμενων σημείων κατάστασης που είναι ασυσχέτιστες στο χώρο.

Η μέθοδος των «surrogate»δεδομένων περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός συνόλου δεδομένων τα οποία είναι συνεπής σε με μία μηδενική υπόθεση. Σύμφωνα με το Theiler [71], ο πρώτος τύπος μηδενικής υπόθεσης είναι η γραμμική συσχέτιση του θορύβου που μιμείται την αρχική χρονοσειρά από άποψη συνάρτησης αυτοσυσχέτισης. Η δεύτερη και πιο γενική μηδενική υπόθεση λαμβάνει υπόψη ότι η παρατηρούμενη χρονοσειρά μπορεί να είναι μια μη γραμμική μονότονη στατική παραμόρφωση ενός στοχαστικού σήματος. Κάθε Gaussian διαδικασία είναι γραμμική, ενώ μία μη-Gaussian διαδικασία μπορεί να είναι είτε γραμμική ή μη γραμμική. Μια πειραματική χρονοσειρά μπορεί να εμφανίζει μη γραμμικότητα από άποψη κατανομής, η οποία μπορεί να οφείλεται σε ένα μη γραμμικό μετασχηματισμό γραμμικών υποκειμένων. Σε αυτή την περίπτωση, τα παραγόμενα «γραμμικά» υποκατάστατα δεδομένων μιμούνται την αρχική χρονοσειρά χ (ί) από άποψη συνάρτησης αυτοσυσχέτισης και πυκνότητα πιθανότητας p(x). Είναι πάντοτε δυνατόν μη περιοδικές χρονοσειρές πεπερασμένου μήκους να είναι μια συγκεκριμένη υλοποίηση της διαδικασίας θορύβου ή μία χαμηλών διαστάσεων διαδικασία.

Συνεπώς, είναι ένα στατιστικό πρόβλημα η διάκριση μεταξύ μίας μη γραμμικής ντετερμινιστικής διαδικασίας και μίας γραμμικής στοχαστικής διαδικασίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε ως στοιχείο διάκρισης μία ποσότητα Q που προέρχεται από μία μέθοδο ευαίσθητη στην μη γραμμικότητα, καθώς και στην εκτίμηση της διάστασης συσχέτισης. Η ποσότητα Q υπολογίζεται για το αρχικά και τα surrogate δεδομένα, και η μηδενική υπόθεση επαληθεύεται ή απορρίπτεται ανάλογα με την τιμή του "sigmas" S

$$S = \frac{\mu_{obs} - \mu_{sur}}{\sigma_{sur}} \quad (34)$$

όπου μ_{sur} is είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του Q στα surrogate δεδομένα, και μ_{obs} είναι η μέση τιμή του Q επί των αρχικών δεδομένων. Για μία μοναδική χρονοσειρά , το μ_{obs} είναι η μόνη τιμή του Q.

5.3 Μελέτη Εργασίας-Δυναμική Διαχείριση Συχνότητας

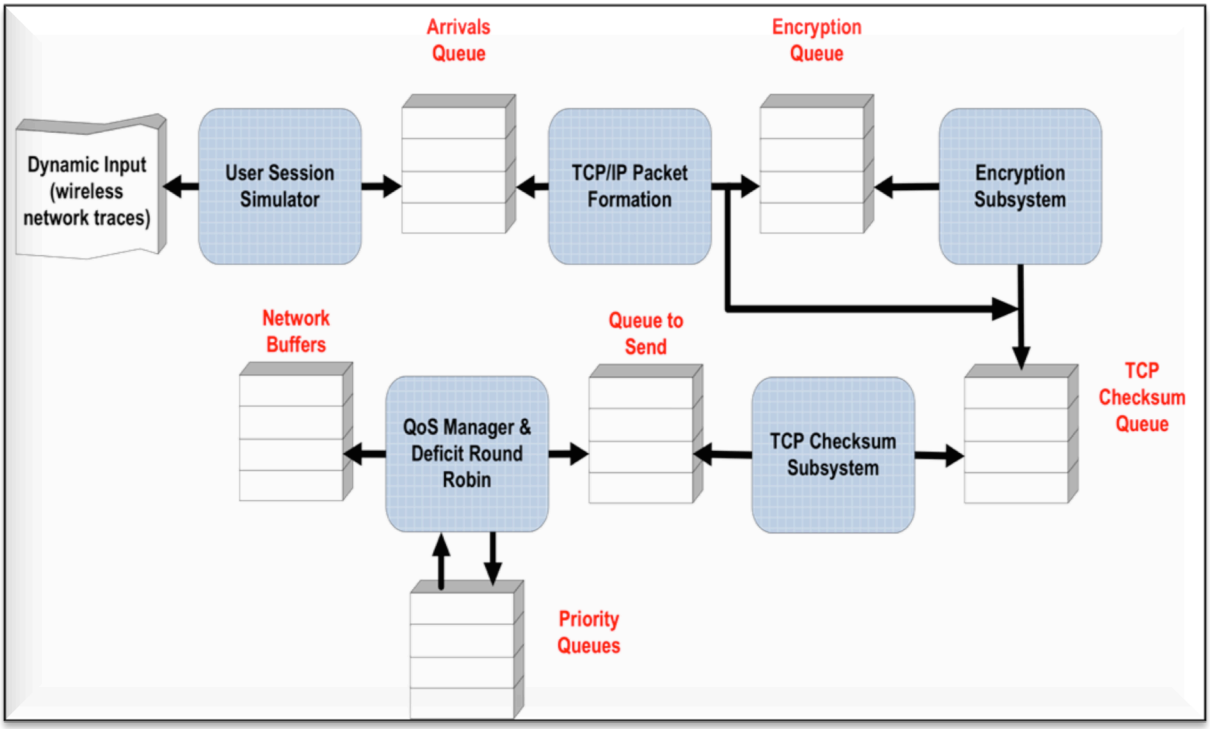
5.3.1 Σύνοψη Εφαρμογής

Με σκοπό να εφαρμόσουμε την προσέγγιση μας, έχουμε μοντελοποιήσει τα ακόλουθα νήματα (threads), τα οποία ελέγχουν ασύρματες ροές σε ένα multi-threaded περιβάλλον Linux [69]. Όπως στα ενσωματωμένα συστήματα (κάθε πυρήνας της εφαρμογής εκτελείται σε δικό του τη ανεξάρτητο νήμα και επικοινωνεί ασύγχρονα με τα άλλα νήματα. Όλες οι ουρές επικοινωνίας έχουν μηχανισμούς κλειδώματος για να διασφαλιστεί ο σωστός συγχρονισμός μεταξύ των νημάτων, βλ. Εικόνα 60:

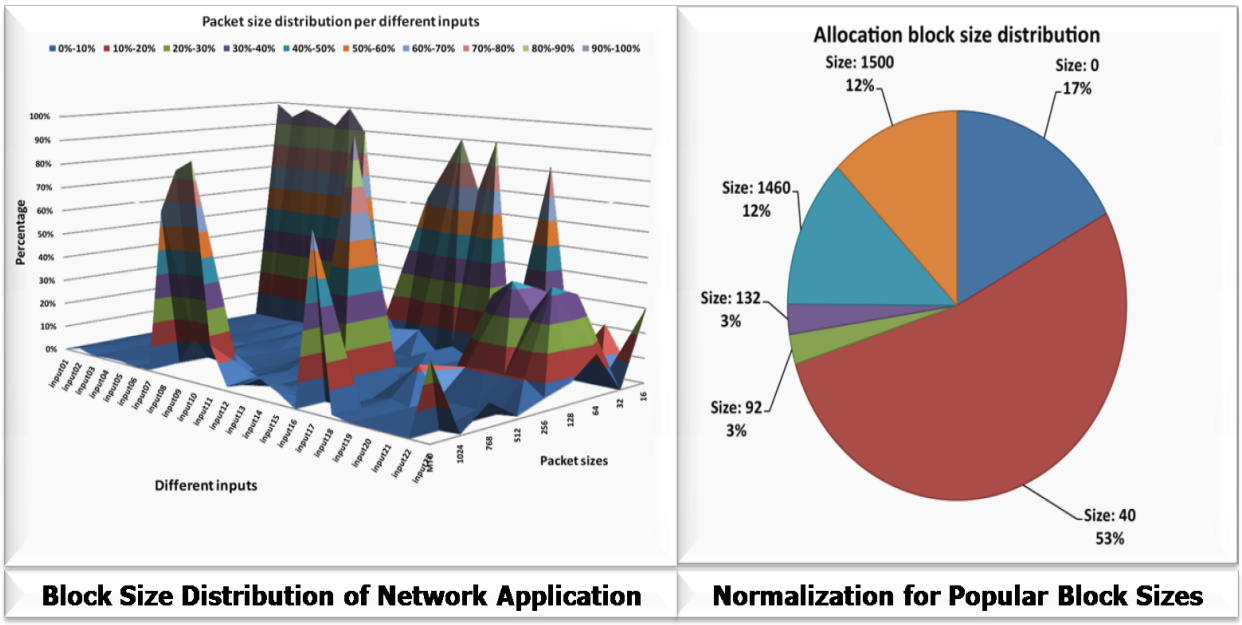
- Προσομοιώνει VoIP, FTP και Web browsing δραστηριότητες (όπως μετρώνται από [74]). Αυτό το νήμα τροφοδοτεί το testbench κάθε πακέτου του trace εισόδου.
- TCP/IP πακέτα σχηματισμού (χτίζει το πλήρες πακέτο TCP/IP συμπληρώνοντας τα πεδία της επικεφαλίδας). Αντανακλώντας το σημείο εισόδου στο λειτουργικό σύστημα, όπως μια κλήση συστήματος write (), αυτό το νήμα χτίζει το πλήρες πακέτο συμπληρώνοντας τα πεδία της επικεφαλίδας που είναι διαθέσιμα (διευθύνσεις IP προέλευσης και προορισμού και αριθμούς θύρας).
- Κρυπτογράφηση των πακέτων που ανήκουν σε μια κρυπτογραφημένη σύνδεση τα οποία επεξεργάζεται ένας αλγόριθμος DES.
- TCP checksum. Υπολογίζεται εφαρμόζοντας το 16 bit συμπλήρωμα ολόκληρου του πακέτου TCP και την λεγόμενη «ψευδο IP επικεφαλίδα», όπως περιγράφεται στο [68].

- Ο διαχειριστής QoS χτίζει μια λίστα προτεραιότητας των προορισμών. Όταν φθάσει ένα πακέτο σε αυτό το υποσύστημα αυτό εισάγεται σε μία ουρά προτεραιότητας. Τα πακέτα που εξάγονται από αυτές διαβιβάζονται στον προσαρμογέα δικτύου, σύμφωνα με ένα απλοποιημένο Deficit Round Robin (DRR) αλγόριθμο.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτήν την εφαρμογή και τα ίχνη του δικτύου μπορούν να βρεθούν στο [67]. Η μελέτη αξιολογήθηκε σε ένα cycle-accurate Network-on-Chip (NoC) περιβάλλον προσομοίωσης [61]. Το υπό δοκιμή σύστημα αποτελείται από τέσσερα στοιχεία επεξεργασίας σε μία mesh τοπολογία. Η πλατφόρμα υποστηρίζει τέσσερις συχνότητες λειτουργίας (200, 400, 600 και 800 MHz) και για τις ανάγκες της ανάλυσής χρησιμοποιούμε περίπου 868.000 μετρήσεις χωρισμένες σε 217 τμήματα όπου κάθε τμήμα έχει 4000 μετρήσεις.



Εικόνα 44. Πολυ –Νηματική Δικτυακή Εφαρμογή



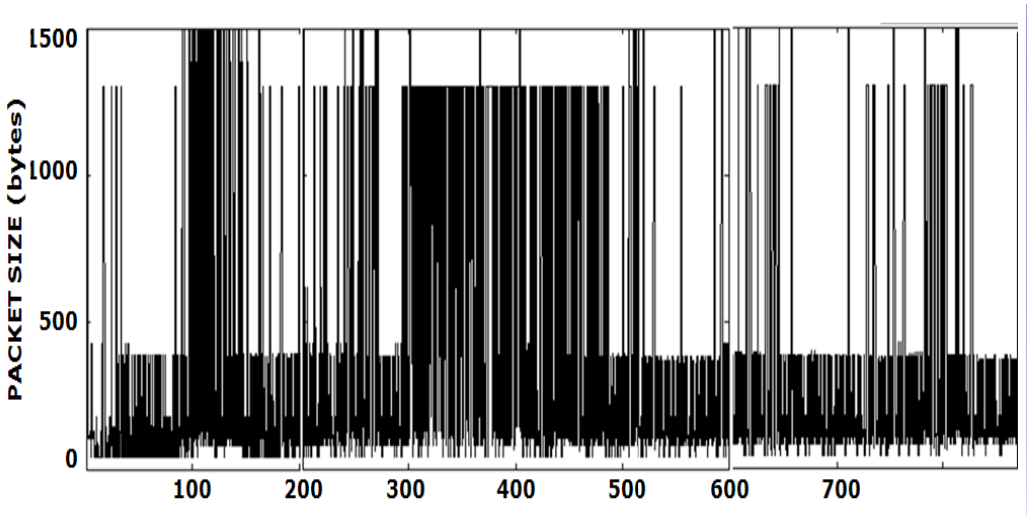
Εικόνα 45. Στατιστικά από Πολυ-Νηματικές Δικτυακές Εφαρμογές

5.3.2 Ανάλυση Φόρτου Εργασίας (Workload Analysis)

Σε αυτή την παράγραφο, παρουσιάζουμε την υλοποίηση των βημάτων που περιγράψαμε προηγούμενος. Για τις ανάγκες της μελέτης μας, χρησιμοποιούμε τα traces από τα στοιχεία κυκλοφορίας της εφαρμογής, η οποία περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο. Ακριβέστερα, η είσοδος της ανάλυσής μας είναι μια χρονοσειρά διαδοχικών στοιχείων μεγέθους πακέτων αποτελούμενη από 868.000 μετρήσεις. Η Εικόνα 62 δείχνει ένα μικρό μέρος αυτής της χρονοσειράς. Ο στόχος της μεθοδολογίας μας είναι να εξεταστεί εάν η διακύμανση του μεγέθους των πακέτων εμφανίζει μια ντετερμινιστική χαοτική συμπεριφορά και εάν είναι αδύνατο να προβλεφτεί. Η Εικόνα 63 είναι μία περίληψη της εφαρμογής των βημάτων της μεθοδολογίας. Η ανάλυσή μας έχει ενδιαφέροντα σημεία. Η διάσταση συσχέτισης (correlation dimension) μας δείχνει τους βαθμούς ελευθερίας του υπό μελέτη συστήματος. Επίσης με αυτή την μέθοδο είναι δυνατόν να διακριθεί το ντετερμινιστικό χάος από τις πραγματικά τυχαία καταστάσεις. Στην περίπτωσή μας, είναι ενδιαφέρον η εξέταση της αναλογίας του αριθμού των πακέτων μικρού μεγέθους ως προς τον αριθμό των πακέτων μεγάλου μεγέθους. Το ερώτημα τώρα είναι πώς μπορούμε να πάρουμε αυτές τις πληροφορίες. Ένα από τα εργαλεία που μπορούν να δώσουν απάντηση σε αυτό είναι η διάσταση συσχέτισης (Slopes).

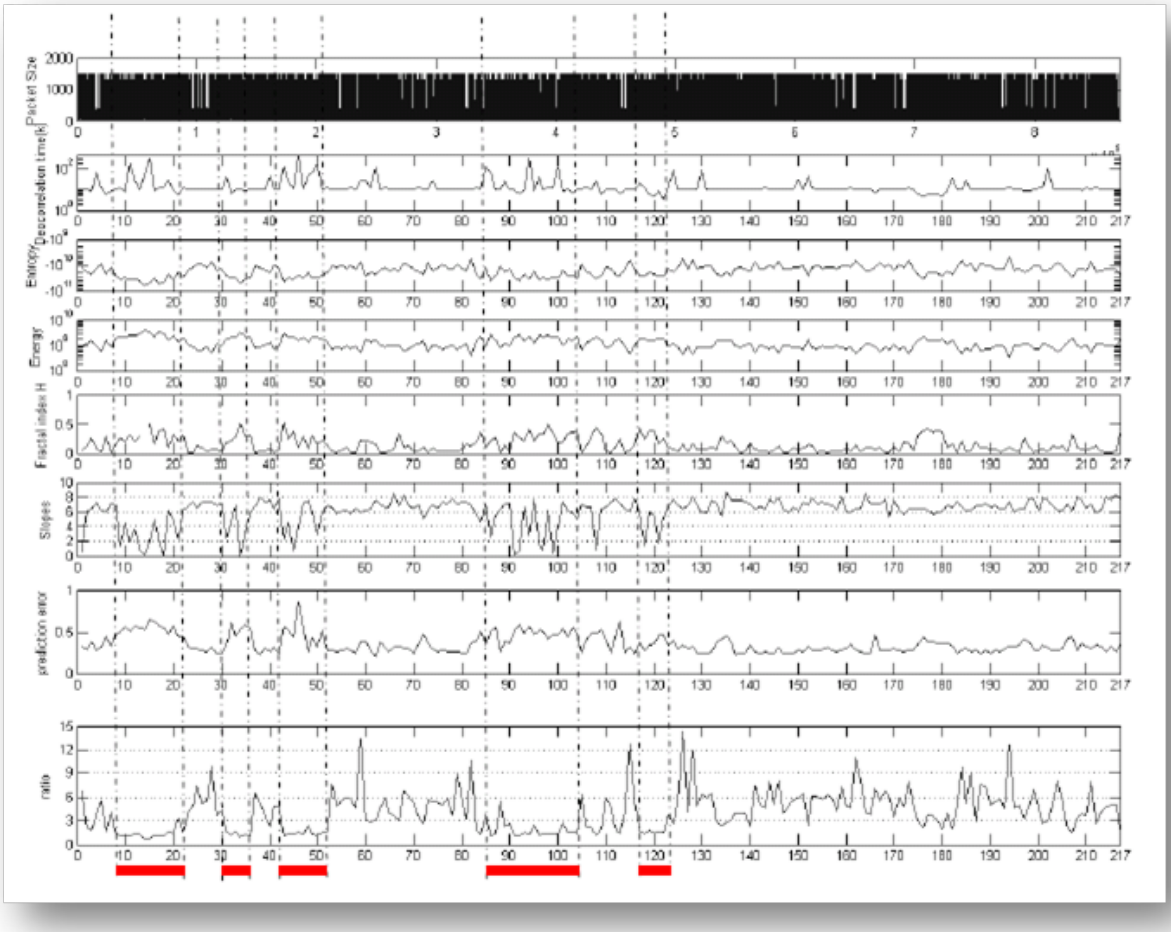
Η Εικόνα 64a παρουσιάζει για ένα ενδεικτικό μέρος της χρονοσειράς μας διαστήματα χαμηλής διάστασης συσχέτισης $D \approx 2$ (πλαγιές) (περιοχές με πράσινο χρώμα) και διαστήματα υψηλής διάστασης συσχέτισης, όταν $D \approx 8$ (περιοχές με μπλε χρώμα). Οι ζώνες συχνοτήτων στις δύο περιπτώσεις είναι συνεχείς. Στην Εικόνα 64b παρουσιάζεται η εκτιμώμενη αναλογία των μικρών προς τα μεγάλα πακέτα. Η μαύρη γραμμή στο φάσμα αντιπροσωπεύει τα πραγματικά δεδομένα στο χρόνο και η κόκκινη γραμμή τα

προβλεπόμενα δεδομένα. Είναι προφανές ότι η πρόβλεψη είναι πολύ κοντά στην πραγματική κατάσταση. Σημειώνουμε ότι για περιόδους με μειωμένη διάσταση συσχέτισης (Slopes), ο λόγος του αριθμού των μικρών πακέτων ως προς μεγάλα τείνει στο 1 (αναλογία Σχήμα). Όταν η διάσταση συσχέτισης είναι υψηλή, η αναλογία είναι διαφορετική από ένα.

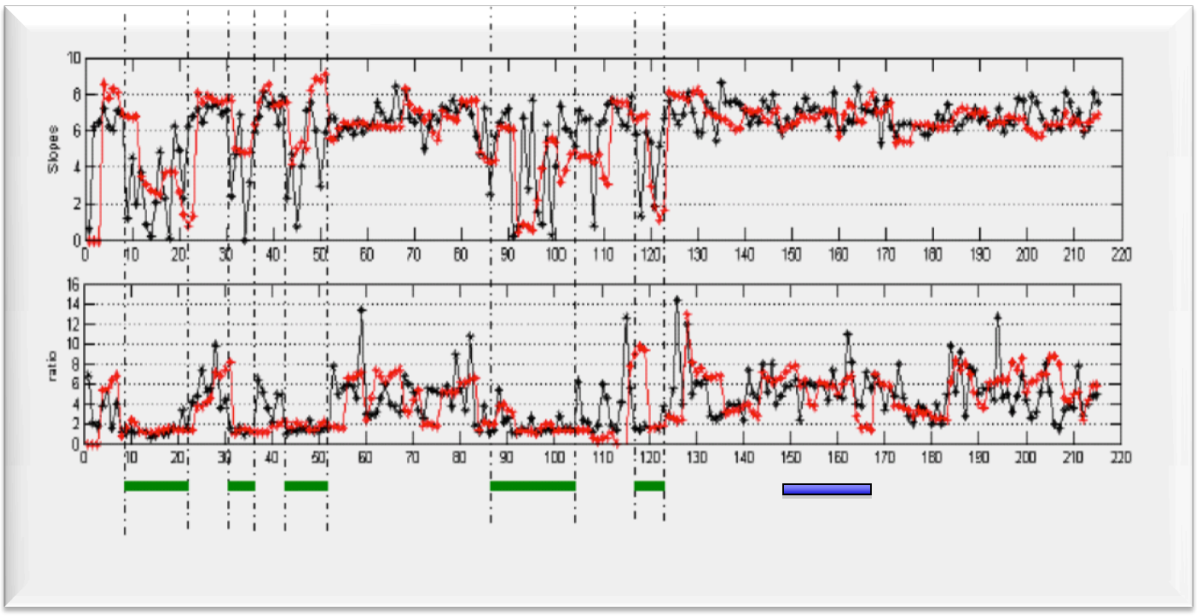


Εικόνα 46. Workload-Χρονοσειρές

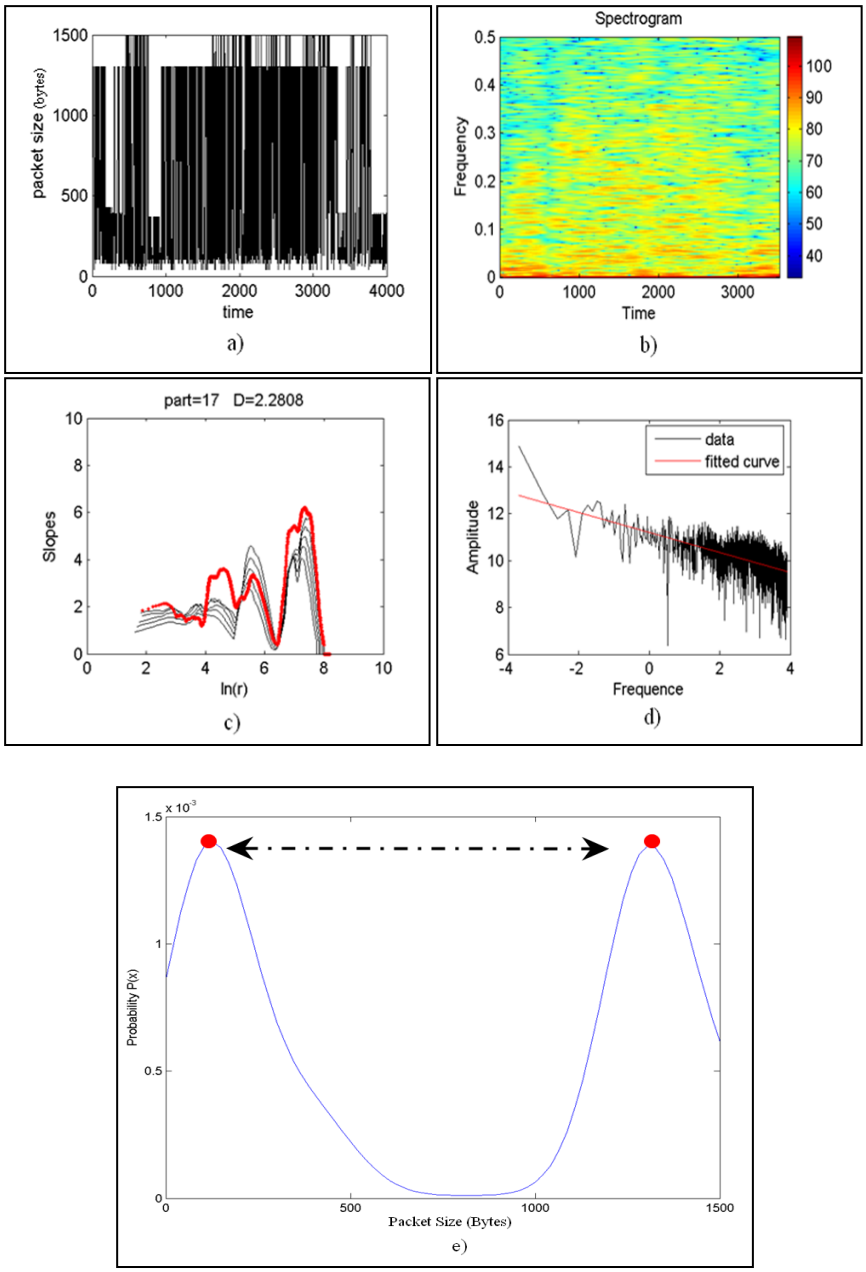
Στην παρακάτω Εικόνα παρουσιάζουμε ενδεικτικά την υλοποίηση των βημάτων 1, 5, 6 και 9 που περιγράφονται αναλυτικά σε προηγούμενη παράγραφο. Στην Εικόνα 65 παρουσιάζονται (α) τα δεδομένα της χρονοσειράς, (β)το spectrogram, (γ) η διάσταση συσχέτισης για διαστάσεις m = 6 - 10 σε σύγκριση με τα slopes των surrogate data (δ) η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης και (ε) η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας (PDF) του μεγέθους πακέτων των χρονοσειρών. Στην Εικόνα 66, αντίστοιχα με την Εικόνα 65, αλλά για άλλη μία περίοδο κατά την οποία η διάστασης συσχέτισης είναι διαφορετική. Κατά τη διάρκεια της περιόδου που αντιστοιχεί στην Εικόνα 65 η διάσταση συσχέτισης είναι υψηλή (> 8). Η συνάρτηση κατανομής για την περίοδο αυτή αποκαλύπτει μικρή πιθανότητα για πακέτα μεγάλου μέγεθος. Σε αντίθεση με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στην Εικόνα 66 (χαμηλή διάσταση συσχέτισης (≈ 2)) όπου εμφανίζονται ίσες πιθανότητες για μικρά και μεγάλα πακέτα



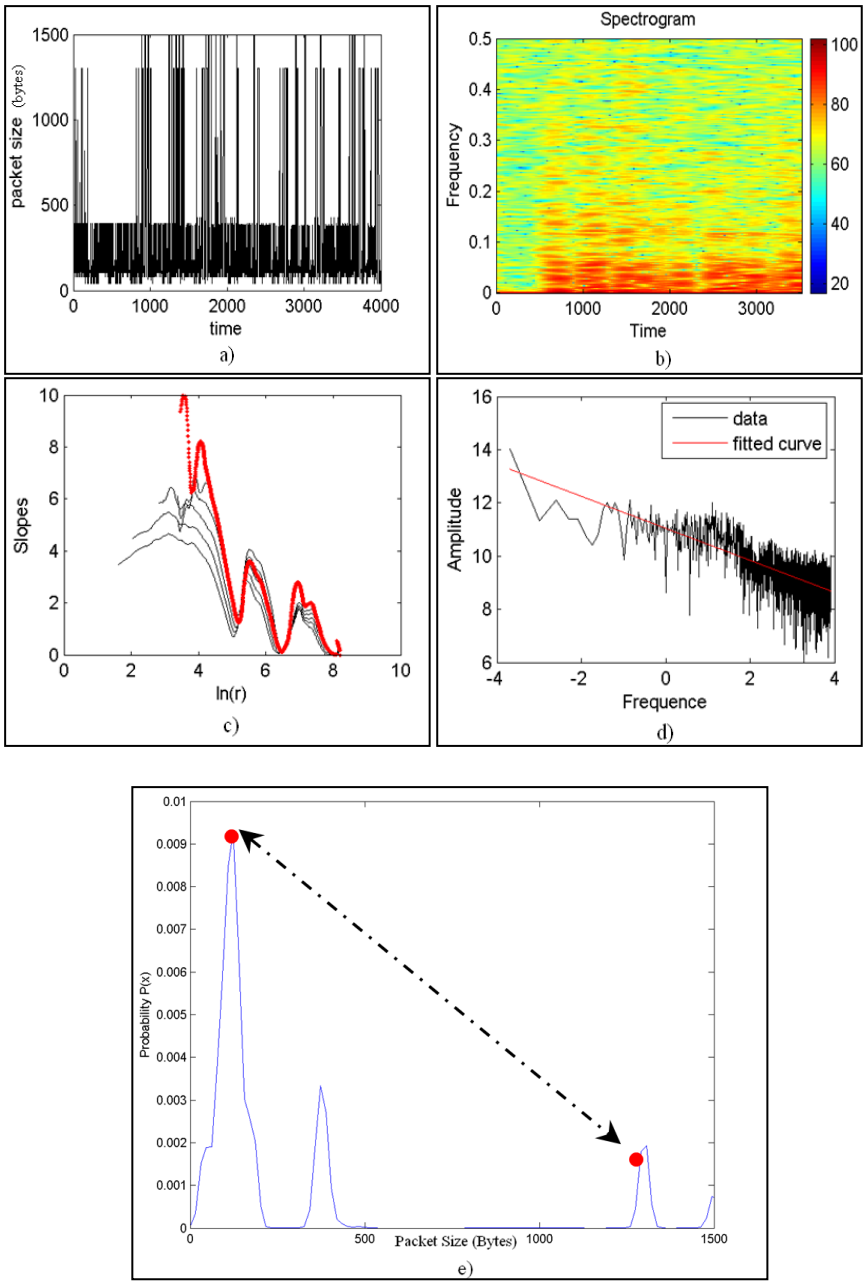
Εικόνα 47. Υλοποίηση των Βημάτων της Workload Μεθοδολογίας



Εικόνα 48. Slopes ολοκληρωμάτων συσχέτισης για χρονοσειρές μεγέθους πακέτων (μαύρη γραμμή) και προβλεπόμενη χρονοσειρά (κόκκινη γραμμή).



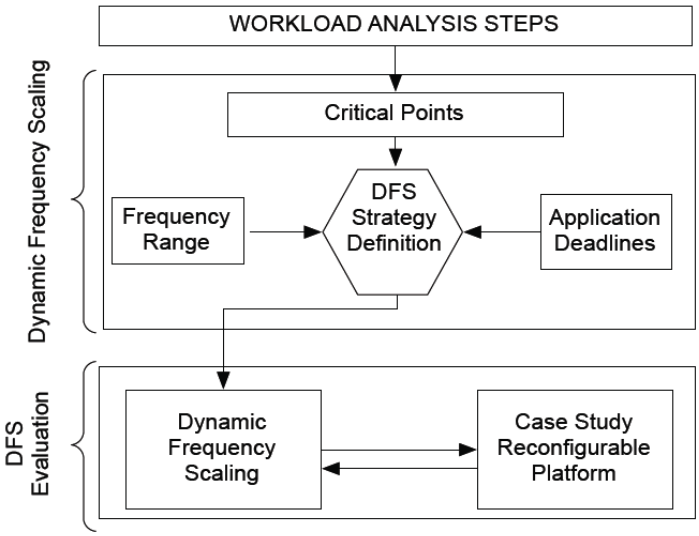
Εικόνα 49. (a) Δεδομένα χρονοσειράς (4000 τιμές), (b) μετασχηματισμός Short Term Fourier T â STFT, (c) Slopes ολοκληρώματος συσχέτιση για m = 6 - 10, τ = 10, w = 10 και Surrogate (κόκκινη γραμμή) χρησιμοποιώντας m = 10, τ= 10, w = 10, (d) συνάρτηση αυτοσυσχέτισης, (e) Συνάρτηση κατανομής πιθανότητας (PDF).



Εικόνα 50. (a) Δεδομένα χρονοσειράς (4000 τιμές), (b) μετασχηματισμός Short Term Fourier T â STFT, (c) Slopes ολοκληρώματος συσχέτισης για m = 6 - 10, τ = 10, w = 13 και Surrogate (κόκκινη γραμμή) χρησιμοποιώντας m = 10, τ= 13, w = 13, (d) συνάρτηση αυτοσυσχέτισης, (e) Συνάρτηση κατανομής πιθανότητας (PDF).

5.3.3 Τεχνική DFS βάση της Workload Ανάλυσης

Για την εξέταση της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης μεθοδολογίας ανάλυσης φόρτου εργασίας αναπτύξαμε μία απλή τεχνική δυναμικής διαχείρισης συχνότητας (DFS) λειτουργίας βάση των δεδομένων ανάλυσης που παρουσιάσαμε στη προηγούμενη παράγραφο . Πιο συγκεκριμένα η τεχνική DFS χωρίζεται σε τρία ξεχωριστά στάδια, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 67. Το πρώτο στάδιο είναι η ανάλυση του φόρτου εργασίας της εφαρμογής-στόχος (όπως την παρουσιάσαμε στην προηγούμενη παράγραφο με την πολυ-νηματική δικτυακή εφαρμογή). Αυτό επιτρέπει στον σχεδιαστή να αποκτήσει μια εικόνα της συμπεριφοράς του φόρτου. Στο δεύτερο στάδιο, ο σχεδιαστής λαμβάνει υπόψη τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος όπως τις περιοχές συχνοτήτων που υποστηρίζονται από την πλατφόρμα, τους περιορισμούς της εφαρμογής συνδυάζοντας τα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του φόρτου εργασίας εξετάζοντας τα «κρίσιμα» σημεία λειτουργίας. Στο τρίτο στάδιο, οι πολιτικές DFS υλοποιούνται και αξιολογούνται χρησιμοποιώντας ένα περιβάλλον προσομοίωσης. Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μίας τέτοιας προσομοίωσης.

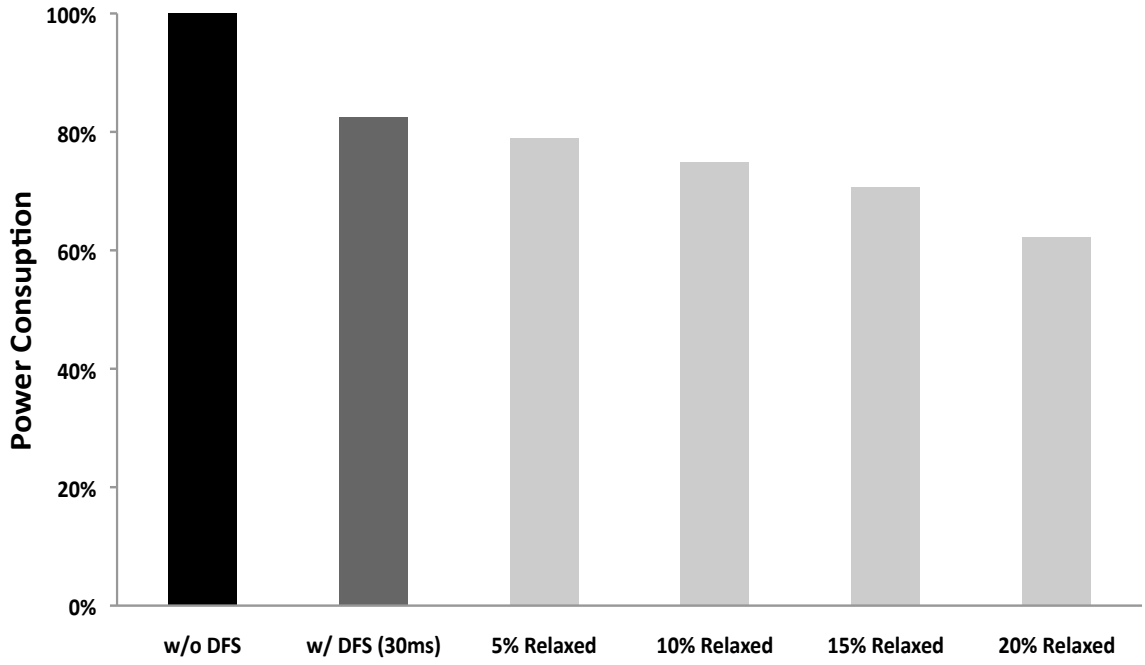


Εικόνα 67. DFS Μεθοδολογία

5.3.4 Αποτελέσματα DFS Προσομοίωσης

Το πρώτο βήμα σε μία σχεδιαστική προσέγγιση είναι ο καθορισμός των χρονικών περιορισμών της εφαρμογής. Για τη μελέτη της επίδρασης τέτοιων περιορισμών στην προτεινόμενη μεθοδολογία καθορίζονται κάποιες προθεσμίες (deadlines). Αρχικά, ορίσαμε ένα hard deadline υπολογίζοντας το μέγιστο χρόνο καθυστέρησης ενός πακέτου σε 30 ms για λειτουργία στην υψηλότερη απόδοση, η οποία στην περίπτωσή μας είναι τα 800 MHz. Στην Εικόνα 68 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης κατανάλωσης ενέργειας, με και χωρίς DFS. Οι τιμές κανονικοποιήθηκαν με βάση την κατανάλωση ισχύος του συστήματος χωρίς τη χρήση DFS (πρώτη στήλη). Η δεύτερη στήλη δείχνει την κατανάλωση ενέργειας του συστήματος, όταν η στρατηγική DFS χρησιμοποιείται, επιτυγχάνοντας κέρδος της τάξης 17,5%, χωρίς να παραβιαστούν οι χρονικοί περιορισμοί.

Το κέρδη στην κατανάλωση ισχύος του συστήματος όταν χαλαρώσουμε τους χρονικούς περιορισμούς κατά 5%, 10%, 15% και 20% φαίνονται στις υπόλοιπες στήλες (ανοιχτό γκρι) της Εικόνας 67. Έτσι με τη χαλάρωση των περιορισμών μπορούμε να επιτύχουμε αύξηση του 21,1%, 25,5%, 29,2% και 37,8% αντίστοιχα.



Εικόνα 68. Κατανάλωση Ισχύος με και χωρίς DFS

5.4 Συμπεράσματα και Παρατηρήσεις

Σε αυτό το κεφάλαιο, προτείνουμε μία νέα μεθοδολογία πρόβλεψης της τάσης του φόρτου εργασίας (workload) που βασίζεται σε προηγμένα μαθηματικά εργαλεία από την περιοχή της Θεωρίας του Χάους. Το όφελος της προσέγγισής μας είναι ότι μπορούμε να αναλύσουμε workloads με υψηλή πολυπλοκότητα, χωρίς να απαιτείται γνώση των προδιαγραφών της εφαρμογής στόχος. Για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της προσέγγισή μας εφαρμόσαμε την μεθοδολογία μας σε μία DFS τεχνική προσομοιώνοντας μια σύνθετη δυναμική πολυνηματική εφαρμογή σε ένα NOC προσομοιωτή. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν μία αξιοσημείωτη βελτίωση της κατανάλωσης ενέργειας, που κυμαίνονται από 17,5% (hard-deadlines) έως 37,8% (soft-deadlines), ανάλογα με τους χρονικούς περιορισμούς της εφαρμογής αποδεικνύοντας ότι η ανάλυση workload μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την διαχείριση πόρων σε σύστημα πραγματικού χρόνου.

6. Επίλογος

6.1 Συμβολή Διατριβής

Στο πλαίσιο αυτής της διατριβής, προτείνουμε μια νέα συστηματική μεθοδολογία για τον αποτελεσματικό χειρισμό της διαχείρισης πόρων σε ασύρματα PHY oriented συστήματα με δυναμική συμπεριφορά. Η πρότασή μας αποσκοπεί στο καθορισμό των αντιδράσεων του συστήματος προσαρμόζοντας την χρήση των πόρων στην τρέχουσα κατάσταση. Η προσέγγισή μας βασίζεται σε μία μεθοδολογία σεναρίων συστήματος ιεραρχώντας την συμπεριφορά του συστήματος από άποψη κόστους. Ο στόχος είναι να μειωθεί η πολυπλοκότητα του χώρου σχεδίασης που ένας διαχειριστής πραγματικού χρόνου πρέπει να λάβει υπόψη του. Ο σκοπός της μεθοδολογίας είναι να καθοριστούν αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις λειτουργίας, οι οποίες μπορούν να αντικαταστήσουν όλες τις επιμέρους καταστάσεις λειτουργίας χωρίς να χρειάζεται ειδικός χειρισμός για την κάθε μία ξεχωριστά. Τα ανοικτά ζητήματα με τα οποία καταπιάνεται αυτή η διατριβή είναι 1) ο βαθμός αντιπροσωπευτικότητας αυτών των σεναρίων συστήματος, 2) η μείωση του κόστους υλοποίησης της ανίχνευσης των σεναρίων και του κόστους εφαρμογής διαφορετικών διαμορφώσεων ανά σενάριο σε πραγματικό χρόνο. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων παρουσιάζεται στα παρακάτω βήματα μεθοδολογίας:

1. **Βήμα Αναγνώριση.** Το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας ο προσδιορισμός όλων των πιθανών καταστάσεων της εφαρμογής. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει να προσδιοριστούν και να χαρακτηριστούν όλες οι μεταβλητές συστήματος καθώς και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους
2. **Βήμα Χαρακτηρισμού.** Το δεύτερο βήμα είναι ο χαρακτηρισμός των καταστάσεων λειτουργίας από άποψη κόστους, για διαφορετικές διαμορφώσεις συστήματος. Αυτό δημιουργεί ένα σύνολο σημείων στο πολυδιάστατο χώρο κόστος. Από αυτά τα σημεία σχεδιασμού επιλέγονται τα βέλτιστα δημιουργώντας μια καμπύλη Pareto
3. **Βήμα Ομαδοποίησης.** Σε αυτό το βήμα θα εξαχθούν τα σενάρια συστήματος για ολόκληρο το σύστημα. Αυτή η διαδικασία βασίζεται στο χαρακτηρισμό κόστους του προηγούμενου βήματος. Ο σκοπός είναι η ομαδοποίηση των καταστάσεων λειτουργίας σε σενάρια συστήματος με βάση τις ομοιότητες κόστους. Τα σενάρια συστήματος αντικαθιστούν τις μεμονωμένες περιπτώσεις με αντιπροσωπευτικές εισάγοντας υπερεκτίμηση στον υπολογισμό των αναγκαίων πόρων
4. **Βήμα Ανίχνευσης.**

   Η ανίχνευση αντιστοιχεί στην εφαρμογή ενός μηχανισμού, ο οποίος αντιστοιχεί τις τρέχουσες καταστάσεις σε σενάρια συστήματος. Αυτό γίνεται μέσα από δέντρα

απόφασης, τα οποία προσθέτουν κάποια επιβάρυνση στο σύστημα, που ονομάζεται overhead ανίχνευσης.

5. **Βήμα Ενναλαγής.** Η εναλλαγή αντιπροσωπεύει την αντίδραση του συστήματος στην ανίχνευση ενός νέου σεναρίου. Αυτό το βήμα περιλαμβάνει την απόφαση αν μία διαμόρφωση θα εφαρμοστεί με βάση τις απαιτήσεις λειτουργίας και τους διαθέσιμους πόρους. Οι εκτιμήσεις αυτές προσθέτουν αναπόφευκτα κόστος, που ονομάζεται κόστος εναλλαγής

Η κύρια συνεισφορά αυτής της διατριβής είναι ότι μελετάει τους θεμελιώδεις συμβιβασμούς μεταξύ της ομαδοποίησης (clustering), της ανίχνευσης (detection) και της εναλλαγή (switching) σεναρίων συστήματος. Για πρώτη φορά, αναλύονται με συστηματικό τρόπο οι συμβιβασμοί μεταξύ αυτών των υλοποιήσεων και δίνεται μία κατεύθυνση για να επιτευχθεί μια βέλτιστη λύση. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται πώς κατά την ομαδοποίηση της συμπεριφοράς του συστήματος σε σενάρια (clustering) μπορεί να ληφθεί υπόψη το κόστος ανίχνευσης αυτών των σεναρίων σε πραγματικό χρόνο εκτέλεσης. Επιπλέον, προτείνονται μετασχηματισμοί στα δέντρα απόφασης, που υλοποιούν την ανίχνευση σε χρόνο εκτέλεσης οι οποίοι μπορούν να επιτύχουν μία συνολική βελτίωση του προστιθέμενου overhead. Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας μας δημιουργήθηκε μια ροή προσομοίωσης η οποία διερευνά και χαρακτηρίζει τους τρόπους λειτουργίας μίας SDR εφαρμογής σε μια NoC αρχιτεκτονική με αυτόματο τρόπο. Με βάση αυτό το εργαλείο προσομοίωσης η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε δύο μελέτες περιπτώσεων με διαφορετικούς σχεδιαστικούς στόχους η κάθε μία. Έτσι στην πρώτη περίπτωση επιτεύχθηκε με την χρήση των σεναρίων μια μείωση του χρόνου αδράνειας (idle time) κατά 92%. Στην δεύτερη περίπτωση εφαρμόζοντας μία δυναμική διαχείριση ισχύος του εκπεμπόμενου σήματος επιτεύχθηκε μία μείωση στην κατανάλωση ενέργειας των κεραιών κατά 50-94%. Τέλος, η παρούσα διατριβή προτείνει μια νέα μεθοδολογία πρόβλεψης και ανάλυσης του φόρτου εργασίας (workload) η οποία δανείζεται την θεωρητική της βάση από το πεδίο της Θεωρίας του Χάους. Ο στόχος είναι να εμπλουτιστεί η υπάρχουσα μεθοδολογία σεναρίων με πιο δυναμικά εργαλεία πρόβλεψης πιθανών υπερφορτώσεων σε δυναμικά συστήματα με σκοπό την κατάλληλη προετοιμασία τους για την αποτελεσματική διαχείριση των διαθέσιμων πόρων τους.

6.2 Μελλοντικοί Ερευνητικοί Στόχοι

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να παρουσιάσει έναν συστηματικό τρόπο διαχείρισης των απαιτητικών ζητημάτων σχετικά με την δυναμική διαχείριση πόρων σε ασύρματες εφαρμογές βασισμένο στην θεωρία σεναρίων συστήματος. Η παρούσα ερευνητική εργασία επικεντρώνεται στο κόστος υλοποίησης των σεναρίων προτείνοντας αποδοτικούς τρόπους μείωσης του χώρου σχεδιασμού ιεραρχώντας τη λειτουργία του συστήματος από πλευράς κόστους σε αντιπροσωπευτικές καταστάσεις. Παρόλα αυτά η παρούσα διατριβή ασχολείται με σενάρια που αφορούν το εσωτερικό ενός thread frame (intra thread frames scenarios) χωρίς να εξετάζει προεκτάσεις της μεθοδολογίας για σενάρια μεταξύ των thread frame (inter thread frames scenarios). Μία ρεαλιστική

λειτουργία ενός ολοκληρωμένου ασύρματου συστήματος χαρακτηρίζεται από πολλά inter-thread frame σενάρια τα οποία απαιτούν νέες προσεγγίσεις στην υλοποίηση του clustering, του switching και του detection στην ίδια κατεύθυνση με τα intra-thread frame σενάρια. ¨έτσι ο καθορισμός νέων κανόνων σε μία πιο αφαιρετική βάση το οποίο θα περιλαμβάνει τις inter thread framelειτουργίες αποτελεί ένα μελλοντικό ερευνητικό θέμα. Ο στόχος είναι να υλοποιηθεί μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία ιεράρχησης της όλης λειτουργίας του συστήματος σε ένα ενιαίο πλαίσιο. Τέλος, η εξέταση υποθέσεων εργασίας με σύγχρονες ασύρματες εφαρμογές όπως LTE and WiMAX βρίσκεται στα επόμενα ερευνητικά εγχειρήματα.

Αναφορές

[1] www.wirelessinnovation.org

[2] Muhammad Imran TAJ "Network on chip based Multiprocessor System on Chip for Wireless Software Defined and Cognitive Radios", PhD Thesis, Université Paris-Est, ESIEE Paris, Laboratoire LIGM Feb, 2012.

[3] J. Mitola, "The Software Radio," IEEE National Telesystems Conference, 1992.

[4] P. Marchal, C. Wong, A. Prayati, N. Cossement, F. Catthoor, R. Lauwereins, D. Verkest, "Impact of task-level concurrency transformations on the MPEG4 IM1 player for weakly parallel processor platforms", on Compilers and Operating Systems for Low Power (COLP'00) in conjunction with Intnl. Conf. on Parallel Arch. And Compilation Techniques (PACT), Philadelphia PN, Oct. 2000.

[5] Rasmus Glarborg Jensen, Kare Tais Christensen, and Erik Bruun. Programmable baseband filter for multistandard mobile phones. Analog Integr. Circuits Signal Process, Jan. 2003.

[6] Branka Vucetic and Jinhong Yuan. Turbo Codes: Principles and Applications. Kluwer Academic Publishers, 2004

[7] Stephen B. Wicker and Saejoon Kim. Fundamentals of Codes, Graph, and Iterative Decoding. Springer, 2002.

[8] L. Benini and G. De Micheli, "Network on chips: a new SoC paradigm," IEEE Computer, vol. 35, no. 1, pp. 70-78, Jan. 2002.

[9] http://www2.imec.be/be_en/press/imec-news/cobra.html.

[10] Martin Palkovic, Jeroen Declerck, Prabhat Avasare, Miguel Glassee, Andy Dewilde, Praveen Raghavan, Antoine Dejonghe, Liesbet Perre. DART--a High Level Software-Defined Radio Platform Model for Developing the Run-Time Controller. J. Signal Process. Syst. 69, 3, Dec. 2012.

[11] T. Limberg, M. Winter, M. Bimberg, R. Klemm, M. B. Tavares, H. Ahlendorf, E. Matus, G. Fettweis, H. Eisenreich, G. Ellguth and J. Schlüssler "A Heterogeneous MPSoC with Hardware Supported Dynamic Task Scheduling for Software Defined Radio"in Proceedings of the 46th Design Automation Conference (DAC'09), San Francisco, USA, 26.7. - 31.7.2009.

[12] Juanjo Noguera, Rosa M. Badia "Power-performance trade-offs for reconfigurable computing" (CODES+ISSS) pp. 116-121, 2004.

[13] Y. S. Li and S. Malik. Performance Analysis of Real-Time Embedded Software. Kluwer Academic Publishers, New York, NY, 1998.

[14] E. D. Pol, O. P. Gangwal, and A. Timmer. A heterogeneous multiprocessor architecture for flexible media processing. IEEE Design & Test of Computers, 19(4):39–50, July 2002.

[15] J. M. Carroll, (ed.) "Scenario-based design: envisioning work and technology in system development", John Wiley & Sons Inc, New York, NY, (1995).

[16] Stefan Valentin Gheorghita, Martin Palkovic, Juan Hamers, Arnout Vandecappelle, Stelios Mamagkakis, Twan Basten, Lieven Eeckhout, Henk Corporaal, Francky Catthoor, Frederik Vandeputte, and Koen De Bosschere. 2009. "System-scenario-based design of dynamic embedded systems". ACM Trans. Des. Autom. Electron. Syst. 14, 1, Article 3, Jan. 2009.

[17] P. Berge, Y. Pomeau, C. Vidal, "Order Within Chaos, Toward a Deterministic Approach to Turbulence", New York: Wiley, 1986.

[18] S.V. Gheorghita. Dealing with dynamism in embedded system design: Application Scenarios. PhD thesis. Eindhoven University of Technology. Department of Electrical Engineering. December 2007.
[19] V. Gheorghita, T. Basten, and H. Corporaal, “Application scenarios in streaming-oriented embedded system design”, Int. Symp. on System-on-Chip (SoC), pp.175-178, Nov. 2006.
[20] S. Lee, S. Yoo, and K. Choi. “An intra-task dynamic voltage scaling method for SoC design with hierarchical FSM and synchronous dataflow model”, Intnl Sympon Low Power Electronics and Design, pages 84–87, August 2002.
[21] D. Mosse, H. Aydin, B. Childers, and R. Melhem, “Compiler-assisted dynamic power-aware scheduling for real-time applications”, Workshop on Compilers and Operating Systems for Low Power, October 2000.
[22] D. Shin and J. Kim, “Optimizing intra-task voltage scheduling using data flow analysis”, Asia and South Pacific Design Automation Conference, Shanghai, China, January 2005.
[23] S. V. Gheorghita, T. Basten, and H. Corporaal, “Intra-task scenario-aware voltage scheduling”, Intnl Conf on Compilers, Architecture and Synthesis for Embedded Systems (CASES), pp. 177–184, Sep 2005.
[24] D. Shin, J. Kim, and S. Lee. “Intra-task voltage scheduling for low-energy, hard real-time applications” IEEE Design & Test of Computers, 18(2): 20–30, March 2001.
[25] V. Gheorghita, T. Basten, H. Corporaal, “Profiling Driven Scenario Detection and Prediction for Multimedia Applications”, Intnl Conf on Embedded Computer Systems: Architectures, Modeling, and Simulation (IC-SAMOS), pp. 63-70, Samos, Greece, July 2006.
[26] J. Hamers, L. Eeckhout, “Scenario-Based Resource Prediction for QoS-Aware Media Processing”, IEEE Computer 43,(10), pp: 56-63, 2010.
[27] M. K. Chen, X. F. Li, R. Lian, J. H. Lin, L. Liu, T. Liu, R. Ju, “Shangri-La: Achieving High Performance from Compiled Network Applications while Enabling Ease Programming”, Proc. of the SIGPLAN, 2005.
[28] M. Palkovic, H. Corporaal, F. Catthoor, “Global Memory Optimisation for Embedded Systems allowed by Code Duplication”, Intnl. Wsh. on Software and Compilers for Embedded Systems (SCOPES), Sep., 2005.
[29] M. Palkovic, H. Corporaal, F. Catthoor, “Heuristics for Scenario Creation to Enable General Loop Transformations'”, System-on Chip Symp. (SoC), Tampere, Finland, pp.48-51, Nov. 2007.
[30] M. R. de Alba, D. R. Kaeli, “Runtime Predictability of Loops”, IEEE International Wsh. on Workload Characterization, pp. 91–98, 2001.
[31] M. Palkovic, et al,”Dealing with variable trip count loops in system level exploration", Workshop on Optimizations for DSP and Embedded Systems, pp.19-28, March 2006.
[32] B. D. Theelen, “A Performance Analysis Tool for Scenario-Aware Streaming Applications”, Intnl Conf on the Quantitative Evaluation of Systems (QEST), pp. 269-270, ISBN 0-7695-2883-X, 2007.
[33] B. D. Theelen “Performance Modelling for System-Level Design” PhD Thesis, Eindhoven University of Technology, 2004.
[34] G. Bilsen, et al. “Cyclo-Static Dataflow. Transactions on Signal Processing”, vol 44, no 2, pp 397–408, 1996.

[35] B. D. Theelen, et al. “A Scenario-Aware Data Flow Model for Combined Long-Run Average and Worst-Case Performance Analysis”, Proceedings of MEMOCODE’06, pp 185–194, 2006.

[36] S.Himpe, Platform Independent Source Code Transformations For Task Concurrency Management, PhD Thesis, Katholieke University, Leuven, Belgium, 2006.

[37] A. Bateman, Digital Communications Design of the Real World, México: Marcombo, 2003.

[38] Felice Balarin and Alberto Sangiovanni-Vincentelli. “Schedule validation for embedded reactive real-time systems”, in Proceedings of the 34th annual Design Automation Conference (DAC), 1997.

[39] D. Lanneer. Design Models and Data-Path Mapping for Signal Processing Architectures. PhD thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium, March 1993.

[40] T. Krol, J. van Meerbergen, C. Niessen, W. Smits, and J. Huisken. The sprite inputlanguage: an intermediate format for high-level synthesis. In Proceedings of the 3rd ACM/IEEE Europ. Design Automation Conference, pages 193-199, Brussels, Belgium, March 1992.

[41] G. P. Pavlos, M.A. Athanasiu, G.C. Anagnostopoulos, A. G. Rigas, E.T. Sarris, “Evidence for chaotic dynamics in the jovian magnetosphere”, Planetary and Space Science 52(5-6) pp: 513 – 541, 2004.

[42] Gernot Hueber, Linus Maurer, Georg Strasser, Karim Chabrak, Rainer Stuhlberger, and Richard Hagelauer. SDR compliant multi-mode digital-front-end design concepts for cellular terminals. In Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Electronics, Hardware, Wireless and Optical Communications, 2005.

[43] Hong-Yi Lin and Hsi-Pin An MIMO-OFDM baseband engine for high mobility environment. In Proceedings of the 15th Asia-Pacific conference on Communications (APCC'09). IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 6-9, Ma. 2009.

[44] Jari Korhonen and Pascal Frossard. 2009. Flexible forward error correction codes with application to partial media data recovery. Image Commun. 24, 3, 229-242, March 2009.

[45] http://www.airmagnet.com/assets/whitepaper/WP-802.11nPrimer.pdf

[46] Ian F. Akyildiz, David M. Gutierrez-Estevez, and Elias Chavarria Reyes. 2010. The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced. Phys. Commun. 3, 4 pp. 217-244, December 2010.

[47] Mai Tran, David Halls, Andrew Nix, Angela Doufexi, and Mark Beach. 2009. Mobile WiMAX: downlink performance analysis with adaptive MIMO switching. In Proceedings of the 2009 IEEE conference on Mobile WiMAX (MWS'09).

[48] S. Eberli, A. Burg, T. Boesch, W. Fichtner, An IEEE 802.11a baseband receiver implementation on an application specific processor, in: MWSCAS 2007, 50th Midwest Symposium on Circuits and Systems, Montreal, Que., , pp. 1324-1327, 2007

[49] Omer Anjum, Tapani Ahonen, Fabio Garzia, Jari Nurmi, Claudio Brunelli, Heikki Berg: State of the art baseband DSP platforms for Software Defined Radio: A survey. EURASIP J. Wireless Comm. and Networking 2011: 5 , 2011.

[50] M. Yukish. *Algorithms to Identify Pareto Points in Multi-Dimensional Data Sets*. PhD thesis, Pennsylvania State University, August 2004.

[51] F. Thoen and F. Catthoor. *Modeling, Verification and Exploration of Task-Level Concurrency in Real- Time Embedded Systems*. Kluwer, 2000.

[52] M. Gries. Methods for evaluating and covering the design space during early design development. *Integration, the VLSI Journal*, 38(2):131–183, 2004
[53] T. Sherwood, S. Sair, and B. Calder, "Phase Tracking and Prediction," Proc. 30th Ann. Int'l Symp. Computer Architecture (ISCA 03), ACM Press, pp. 336-349, (2003).
[54] D. H. Albonesi, "Selective Cache Ways: On-Demand Cache Resource Allocation," Proc. 32nd Ann. IEEE/ACM Int'l Symp. Microarchitecture (MICRO 99), IEEE CS Press, pp. 248-259, (1999).
[55] V. Gheorghita, T. Basten, H. Corporaal "Scenario Selection and Prediction for DVS-Aware Scheduling of Multimedia Applications", Signal Processing Systems 50(2) pp: 137-16,1, 2008.
[56] P. Yang, P. Marchal, C.Wong, , S. Himpe, F.Catthoor, P. David, J. Vounckx, , R. Lauwereins," Cost-efficient mapping of dynamic concurrent tasks in embedded real-time multimedia systems" In: W. Wolf, A. Jerraya (eds.) Multi-Processor Systems on Chip, chap. 11. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, (2003)
[57] J. Hu, "Design methodologies for application specific networks-on-chip," Ph.D. dissertation, Carnegie Mellon Univ., 2005.
[58] M. Wimmer, A, Schauerhuber, G. Kappel, W. Retschitzegger, W. Schwinger, and Elizabeth Kapsammer, "A survey on UML-based aspect-oriented design modeling", *ACM Comput. Surv.* 43, 4, Article 28, Oct. 2011.
[59] Bruno Bougard, Sofie Pollin, Antoine Dejonghe, Francky Catthoor, and Wim Dehaene. 2006. Cross-layer power management in wireless networks and consequences on system-level architecture. Signal Process. 86, 8, August 2006.
[60] A. J. Crilly, R. A. Earnshaw, H. Jones, eds." Fractals and chaos", Springer-Verlag New York, Inc. 1991.
[61] A. Jantsch, Models of computation for networks on chip, in: Proc. of ACSD, Vol. 6, IEEE Computer Society, pp. 165–178, 2006.
[62] http://www.synopsys.com/products/cocentric_studio/cocentric_studio.html, 2003
[63] Felice Balarin, Luciano Lavagno, Claudio Passerone, Alberto L. Sangiovanni-Vincentelli, Yosinori Watanabe, Guang Yang: Concurrent execution semantics and sequential simulation algorithms for the metropolis meta-model. CODES,pp: 13-18 2002.
[64] Pai H. Chou, Ross B. Ortega, Ken Hines, Kurt Partridge, Gaetano Borriello: ipChinook: an Integrated IP-based Design Framework for Distributed Embedded Systems. DAC, pp: 44-49, 1999.
[65] Felice Balarin, Massimiliano Chiodo, Paolo Giusto, Harry Hsieh, Attila Jurecska, Luciano Lavagno, Claudio Passerone, Alberto Sangiovanni-Vincentelli, Ellen Sentovich, Kei Suzuki, and Bassam Tabbara (Eds.). Hardware-Software Co-Design of Embedded Systems: The POLIS Approach. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 1997.
[66] Object Management Group, "UML Profile for Modeling and Analysis of Real-Time and Embedded systems (MARTE)," http://www.omg.org/cgibin/doc?realtime/05-02-06, 2005.
[67] A. Bartzas, M. Peon-Quiros, S. Mamagkakis, F. Catthoor, D. Soudris, J. Mendias, Enabling run-time memory data transfer optimizations at the system level with automated extraction of embedded software metadata information, in: Proc. of ASP-DAC, IEEE Computer Society, pp. 434–439, 2008.
[68] Information Sciences Institute. RFC 793: Transmission Control Protocol. http://tools.ietf.org/html/rfc793, 1981.

[69] B. Nichols, D. Buttlar, and J. P. Farrell. Pthreads programming. O'Reilly,. ISBN 1-56592-115-1, 1996.
[70] S. Murali and G. D. Micheli, "Bandwidth-constrained mapping of cores onto NoC architectures," in Proc. of DATE, 2004.
[71] Theiler, J., Galdrikian, B., Longtin, A., Eubank, S., Farmer, J.: Using surrogate data to detect nonlinearity in time series. Addison Wesley (1992).
[72] J. Declerck, E. Umans, A. Dejonghe, M. Trautmann, M. Glassee, and L.Van der Perre, "A software development and validation framework for SDR platforms", In: SDR Forum Technical Conference, Washington D.C., USA,(27-30 October), 2008.
[73] M. Trautmann, S. Mamagkakis, B. Bougard, J. Declerck, E. Umans, A. Dejonghe, L. Van der Perre, and F.Catthoor, "Simulation framework for early phase exploration of SDR platforms: a case study of interconnect dimensioning", In: 29th Symposium on Information Theory in the Benelux - WIC. Leuven, Belgium, (29-30 May) 2008.
[74] T. Henderson, D. Kotz, and I. Abyzov. The Changing Usage of a Mature Campus-wide Wireless Network. In Proc. of MobiCom, 2004.
[75] A. Wolf, J. B. Swift, H. L. Swinney, J.A. Vastano, "Determining Lyapunov exponents from a time series", Physica D: Nonlinear Phenomena 16(3), pp.285 – 317, 1985.
[76] A. Vitkovski. A Study on Power Consumption in the Nostrum Communication Network. Master's thesis, Institute of Microelectronics and Information Technology, Royal Institute of Technology (KTH), IMIT/LECS 2004-22, Stockholm, Sweden, April 2004.
[77] Rikard Thid. A network on chip simulator. Master's thesis, Department of Microelectronics and Information Technology, Royal Institute of Technology, IMIT/LECS 2002-17, August 2002.
[78] Zhonghai Lu. A User Introduction to NNSE: Nostrum Network-on-Chip Simulation Environment. Royal Institute of Technology, Stockholm, November 2005.
[79] Mikael Millberg, Erland Nilsson, Rikard Thid, and Axel Jantsch , "Guaranteed Bandwidth Using Looped Containers in Temporally Disjoint Networks within the Nostrum Network on Chip" in Proceedings of the conference on Design, automation and test in Europe - Volume 2 (DATE), 2004.
[80] F. Takens, "Detecting strange attractors in turbulence," Dynamical Systems and Turbulence, Lecture Notes in Mathematics, Vol. 898, Berlin: Springer-Verlag, pp. 366-381, 1981.
[81] Alexander Wei Yin "Generalization of Slot Table Size for Virtual Circuits on Nostrum Networks on Chip" master thesis, KTH - Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2008.
[82] Digital Baseband Solution For Cognitive radio http://www2.imec.be/content/user/File/Brochures/GR2010_Leaflet_COBRA.pdf.
[83] T. Ulversoy, "Software defined Radio: Challenges and Opportunities",IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol.12, No.4, Fourth Quarter 2010.

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω το καθηγητή κ Δημήτριο Σούντρη που μου έδωσε την δυνατότητα της πραγματοποίησης του Phd παρέχοντας μου χρήσιμες συμβουλές και καθοδήγηση σε ερευνητικό επίπεδο βοηθώντας με να έρθω σε επαφή με ενδιαφέροντα άτομα του τομέα. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στο καθηγητή Francky Catthoor ενός από τους σημαντικότερους γνώστες του τομέα καθώς η συμβολή του υπήρξε καθοριστική για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Επιπροσθέτως θα ήθελα να ευχαριστήσω την ομάδα του the IMEC wireless group και ιδιαίτερα τους ερευνητές Praveen Raghavan and Martin Palkovic για την συνεργασία τους στο πλαίσιο της έρευνας σχετικά με τα σενάρια συστήματος. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την ομάδα του εργαστηρίου Microlad NTUA και ιδιαίτερα τους ερευνητές Αντόνιο Παπανικολάου και Αλέξανδρο Μπάρτζα για την συνεργασία και την βοήθεια που πάντα παρείχαν

Δημοσιεύσεις

Journal Papers

1. Nikolaos Zompakis, Antonis Papanikolaou, Praveen Raghavan, Dimitrios Soudris, Francky Catthoor: Enabling Efficient System Configurations for Dynamic Wireless Applications Using System Scenarios. IJWIN 20(2): 140-156, 2013.
2. Nikolaos Zompakis, Alexandros Bartzas, Francky Catthoor, Dimitrios Soudris: System scenarios-based architecture level exploration of SDR application using a network-on-chip simulation framework. Microprocessors and Microsystems - Embedded Hardware Design 37(6-7): 544-553, 2013.
3. Nikolaos Zompakis, Alexandros Bartzas, Dimitrios Soudris, "Using Chaos Theory Based Workload Analysis to Perform Dynamic Frequency Scaling on MPSoCs" Journal of Systems Architecture Embedded Software (minor review)

Conference Papers

1. Nikolaos Zompakis, Lazaros Papadopoulos, Georgios Ch. Sirakoulis, Dimitrios Soudris "Implementing cellular automata modeled applications on network-on-chip platforms", VLSI-SoC07, pp: 288-291, 2007.
2. Lazaros Papadopoulos, Christos Baloukas, Nikolaos Zompakis, Dimitrios Soudris "Systematic Data Structure Exploration of Multimedia and Network Applications realized Embedded Systems", ICSAMOS 07', pp: 58-65, 2007.
3. N. Zompakis, M. Trautmann, A. Bartzas, S. Mamagkakis, D. Soudris, L. Van der Perre, F. Catthoor, ''A Cycle Accurate NoC Simulation Framework for Early Phase Exploration of SDR Platforms'' in University Booth (Session 5: System Exploration), DATE Conference, Nice, France, April, 2009.
4. Nikolaos Zompakis, Martin Trautmann, Alexandros Bartzas, Stylianos Mamagkakis, Dimitrios Soudris, Liesbet Van der Perre, Francky Catthoor "Multi-granularity NoC Simulation Framework for Early Phase Exploration of SDR Hardware Platforms". PATMOS 09', pp:165-174, 2009.
5. Nikolaos Zompakis, Vasileios Tsoutsouras, Alexandros Bartzas, Dimitrios Soudris, Georgios Pavlos "Dynamic Frequency Scaling for MPSoCs based on Chaotic Workload Analysis", ARCS Workshops 10', pp: 305-312, 2010.
6. Nikolaos Zompakis, Antonis Papanikolaou, Praveen Raghavan, Dimitrios Soudris, Francky Catthoor "Enabling efficient system configurations for dynamic wireless baseband engines using system scenarios", SiPS 11', pp: 305-310, 2011.