



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

---

---

**Forward Error Correction σε multicast  
μετάδοση πάνω από 4G κινητά δίκτυα**

---

---

ΓΕΩΡΓΙΑ Κ. ΤΣΕΛΙΟΥ

A.M. 4275

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ Ι. ΜΠΟΥΡΑΣ

ΣΥΝΕΞΕΤΑΣΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΠΕΡΜΠΕΡΙΔΗΣ

ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2012



# Περίληψη

Τα Long Term Evolution (LTE) συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς έχουν προσδιοριστεί και σχεδιαστεί για να μπορούν να εξυπηρετήσουν μικρές, υψηλής επίδοσης και αποδοτικές από άποψη ενέργειας συσκευές χρηστών. Η υπηρεσία evolved Multimedia Broadcast / Multicast Service (e-MBMS) εισήχθη από τον οργανισμό 3rd Generation Partnership Project (3GPP) σαν συμπλήρωμα στην υπάρχουσα MBMS υπηρεσία έτσι ώστε να διευκολύνεται η μετάδοση δεδομένων σε multicast χρήστες που ενδιαφέρονται να λάβουν τα ίδια δεδομένα. Η MBMS υπηρεσία παρέχεται μέσω των MBMS over a Single Frequency Network (MBSFN) ή / και Point-To-Multipoint (PTM) τρόπων μετάδοσης. Μία από τις κυριότερες προκλήσεις της MBMS υπηρεσίας είναι η διαδικασία διόρθωσης λαθών σε μεταδιδόμενα αρχεία μιας και η διανομή των δεδομένων θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα τη λήψη των αρχείων χωρίς λάθη. Για να εκπληρωθεί αυτή η απαίτηση, προτείνεται ένας Forward Error Correction (FEC) μηχανισμός. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετάται η αξιόπιστη multicast μετάδοση δεδομένων καθώς και η διόρθωση τους. Εισάγεται λοιπόν μία μέθοδος διόρθωσης λαθών που χρησιμοποιεί τα οφέλη τόσο της MBSFN όσο και της PTM μετάδοσης σε multicast περιβάλλοντα. Παράλληλα, συγκρίνονται διάφορες μέθοδοι διόρθωσης λαθών που βασίζονται στις FEC τεχνικές και αξιολογούνται λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους του δικτύου σε ένα ρεαλιστικό περιβάλλον εξομοίωσης. Η σύγκριση βασίζεται στην ανάλυση κόστους της MBMS υπηρεσίας που λαμβάνει υπόψη το κόστος μετάδοσης πάνω από όλες τις διεπαφές και τους κόμβους της αρχιτεκτονικής ενός LTE δικτύου. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εξομοίωση διεξάγονται με τη βοήθεια ενός νέου εργαλείου εξομοίωσης και δείχνουν ότι υπάρχουν μερικές τεχνικές διόρθωσης λαθών που επιτυγχάνουν καλύτερη απόδοση κάτω από διαφορετικές διαμορφώσεις της τοπολογίας του δικτύου.

**ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ:** πολυμεσικό multicasting; κινητά δίκτυα; forward error correction; αξιοπιστία; single frequency network; βελτιστοποίηση; point to multipoint;



# Abstract

*Long Term Evolution (LTE) systems have been specified and designed to accommodate small, high performance, power-efficient, end-user devices. The evolved Multimedia Broadcast/Multicast Service (e-MBMS) feature is introduced by the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) as a complement to the existing MBMS service in order to accommodate multicast groups that are interested in receiving the same data. MBMS service is provided by MBMS over a Single Frequency Network (MBSFN) and/or Point-To-Multipoint (PTM) transmission methods. One of the challenges of MBMS is the file repair procedure, a matter of great importance since the distribution of binary data must result in 100% error-free downloaded files. To fulfill this tight requirement, Forward Error Correction (FEC) mechanism has been proposed. In this work, we investigate the reliable multicasting by introducing a transmission method that combines the advantages of MBSFN and PTM transmission methods. We compare several FEC-based file recovery methods and evaluate them against various network parameters in a realistic simulation environment. The comparison is based on a cost-oriented analysis of MBMS service that takes into account the transmission cost over all the interfaces and nodes of the LTE architecture. The simulation results are performed with the aid of a new simulation tool and show that there are some file repair schemes that achieve better performance under different network configurations.*

**KEYWORDS:** multimedia multicasting; cellular networks; forward error correction; reliability; single frequency network; optimization; point to multipoint;



# Πρόλογος

*Η παρούσα διπλωματική εργασία συντάχθηκε το ακαδημαϊκός έτος 2011-2012 στο τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Χρήστου Ι. Μπούρα, προς τον οποίο θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για την εποικοδομητική του συνεργασία και καθοδήγηση καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας.*

*Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους Δρ. Βασίλειο Κόκκινο και Δρ. Αντρέα Παπαζώνη για την αμέριστη βοήθεια τους και την καθοδήγησή τους τόσο σε όλη την διάρκεια της παρούσας εργασίας αλλά και στην ερευνητική μου πορεία.*

*Στη συνέχεια ευχαριστώ τους συναδέλφους και συνεργάτες μου στα πλαίσια της συμμετοχής μου στο Εργαστήριο Τηλεματικής και Νέων Υπηρεσιών του ΤΜΗΥΠ και στην Ερευνητική Μονάδα 6 του Ινστιτούτου Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων (ITYE «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»).*

*Τέλος, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου και κυρίως στους γονείς μου και την αδερφή μου που με στήριξαν και συνεχίζουν να με στηρίζουν με κάθε δυνατό τρόπο.*

*Γεωργία Τσέλιου*

*Πάτρα, Ιούνιος 2012*





## Πίνακας περιεχομένων

|  |           |
|--|-----------|
| Περίληψη .....   | i         |
| Abstract.....  | iii       |
| Πρόλογος .....   | v         |
| <b>1 Εισαγωγή.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας .....  | 1         |
| 1.2 Συνεισφορά Διπλωματικής Εργασίας.....  | 2         |
| 1.3 Οργάνωση Κεμένου .....   | 3         |
| <b>2 Κινητά Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών 4ης Γενιάς.....</b>                                   | <b>6</b>  |
| 2.1.1 <i>Ιστορική Εξέλιξη των Κινητών Δικτύων Τηλεπικοινωνιών.....</i>                   | <i>6</i>  |
| 2.1.2 <i>Long Term Evolution Δίκτυα και Multimedia Broadcast / Multicast Υπηρεσίας11</i> |           |
| 2.1.3 <i>Forward Error Correction Μηχανισμοί.....</i>                                    | <i>15</i> |
| 2.1.4 <i>Raptor Κώδικες.....</i>   | <i>17</i> |
| 2.1.5 <i>Τρόποι Μετάδοσης Δεδομένων σε Multicast Χρήστες σε ένα LTE δίκτυο .....</i>     | <i>18</i> |
| <b>3 Σχετικές εργασίες.....</b>  | <b>20</b> |
| 3.1 FEC μηχανισμοί για διόρθωση λαθών .....  | 20        |
| 3.2 Διαδικασίες διόρθωσης λαθών.....   | 21        |
| <b>4 Λειτουργίες και Αρχιτεκτονική της υπηρεσίας MBMS .....</b>                          | <b>23</b> |
| 4.1 Λειτουργία Broadcast.....  | 23        |
| 4.2 Λειτουργία Multicast.....  | 24        |
| 4.3 Αρχιτεκτονική της Υπηρεσίας MBMS.....  | 24        |
| <b>5 Επισκόπηση των FEC τεχνικών στην Υπηρεσία MBMS .....</b>                            | <b>29</b> |
| 5.1 FEC Τεχνικές στο Επίπεδο Εφαρμογής.....  | 29        |
| 5.2 Διαδικασία Διόρθωσης Λαθών .....   | 30        |
| <b>6 Ανάλυση Κόστους για την Υπηρεσία MBMS.....</b>                                      | <b>32</b> |
| 6.1 Πιθανές Τοπολογίες Δικτύου και Τρόποι Μετάδοσης Δεδομένων.....                       | 34        |
| 6.2 Κόστος για την Polling Διαδικασία.....   | 36        |

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| 6.3   | Κόστος στην Ασύρματη Διεπαφή του Δικτύου .....   | 37        |
| 6.4   | Κόστος στους Υλικούς Κόμβους του Δικτύου .....   | 38        |
| 6.5   | Κόστος της Διαδικασίας Συγχρονισμού.....   | 38        |
| 6.6   | Συνολικό Τηλεπικοινωνιακό Κόστος Μετάδοσης.....  | 40        |
| <b>7</b>  | <b>Διαδικασία Διόρθωσης Λαθών και Εκτίμηση Κόστους.....</b>  | <b>41</b> |
| 7.1   | Αλγόριθμος Εκτίμησης Κόστους για Διάφορες Προσεγγίσεις Διόρθωσης Λαθών και Διαμορφώσεις του LTE Δικτύου..... | 43        |
| 7.2   | Αλγόριθμος για Βελτιστοποίηση του Κόστους Μετάδοσης.....   | 45        |
| <b>8</b>  | <b>Πειραματική Αξιολόγηση .....</b>  | <b>47</b> |
| 8.1   | Παράμετροι Εξομοίωσης.....   | 47        |
| 8.2   | Τηλεπικοινωνιακό Κόστος για την Ανάκτηση Αρχείου.....  | 49        |
| 8.2.1   | <i>Τηλεπικοινωνιακό Κόστος έναντι του Αριθμού Multicast Χρηστών.....</i>                                     | <i>49</i> |
| 8.2.2   | <i>Τηλεπικοινωνιακό Κόστος έναντι της Απώλειας Πακέτων.....</i>  | <i>51</i> |
| 8.2.3   | <i>Τηλεπικοινωνιακό Κόστος έναντι της FEC Επιβάρυνσης .....</i>  | <i>51</i> |
| 8.3   | Τηλεπικοινωνιακό Κόστος για μία Σταδιακά Αυξανόμενη Τοπολογία .....  | 55        |
| 8.4   | Τηλεπικοινωνιακό Κόστος για Κινούμενους Χρήστες σε ένα Σύνολο Κελιών.....                                    | 59        |
| <b>9</b>  | <b>Επίλογος.....</b>   | <b>63</b> |
| 9.1   | Σύνοψη της Εργασίας και Συμπεράσματα.....  | 63        |
| 9.2   | Ιδέες για Μελλοντικές Επεκτάσεις.....  | 64        |
| <b>Παράρτημα I: Σχετικές Δημοσιεύσεις της Συγγραφέως.....</b> |  | <b>66</b> |
| <b>Παράρτημα II: Παραθέσεις Σχετικών Δημοσιεύσεων .....</b>   |  | <b>72</b> |
| <b>Παράρτημα III: Βιβλιογραφία .....</b>                      |  | <b>73</b> |
| <b>Παράρτημα IV: Ακρόνυμα .....</b>                           |  | <b>76</b> |
| <b>Παράρτημα V: Κώδικας υλοποίησης .....</b>                  |  | <b>80</b> |

# 1

## *Εισαγωγή*

### *1.1 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας*

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο να βελτιώσει το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος που προκύπτει κατά τη διάρκεια της multicast μετάδοσης σε ένα ασύρματο δίκτυο Long Term Evolution (LTE) τεχνολογίας. Αυτό το κόστος έχει να κάνει τόσο με το κόστος μετάδοσης πακέτων δεδομένων όσο και με το κόστος διόρθωσης λαθών που προκύπτουν κατά την όλη διαδικασία. Για τη διόρθωση των λαθών γίνεται χρήση των Forward Error Correction (FEC) τεχνικών που είναι ευρέως γνωστές για τις ωφέλιμες ιδιότητες του σε περιβάλλοντα multicast χρηστών.

Παρουσιάζεται μία λεπτομερής ανάλυση κόστους της υπηρεσίας Multimedia Broadcast / Multicast Service (MBMS). Αυτή η ανάλυση βασίζεται στο κόστος μετάδοσης πάνω από κάθε διεπαφή και κόμβο της αρχιτεκτονικής ενός LTE δικτύου. Κατά τη διάρκεια της μελέτης καθώς και της αξιολόγησης, λαμβάνεται υπόψη το συνολικό κόστος μετάδοσης που αποτελείται από το κόστος μετάδοσης του πακέτου (packet delivery cost) στους κόμβους και τις διεπαφές του δικτύου καθώς και του κόστους για τις διαδικασίες έλεγχου (cost for control procedures).

Γίνεται αξιολόγηση της απόδοσης της υπηρεσίας MBMS σε ένα LTE δίκτυο, που συνδυάζει τόσο τη μετάδοση MBMS over a Single Frequency Network (MBSFN) όσο και τη μετάδοση Point to Multipoint (PTM). Η αξιολόγηση και των δύο αυτών τεχνικών μετάδοσης είναι ύψιστης σημασίας γιατί στην πράξη τα LTE συστήματα μπορούν να τις χρησιμοποιούν ταυτόχρονα για μία επιτυχημένη μετάδοση σε multicast χρήστες. Η εργασία συνεισφέρει στο να γίνει μία ολοκληρωμένη μελέτη

που να βασίζεται στο κόστος μετάδοσης πάνω από ένα LTE δίκτυο και να δοθούν αποτελέσματα τα οποία θα συνεισφέρουν σε μελέτες που θα ασχολούνται με θέματα απόδοσης σε συστήματα LTE 4<sup>ης</sup> γενιάς.

Επίσης, σε αυτή την εργασία μελετάται η αντιστάθμιση μεταξύ της επιβάρυνσης από τη χρήση FEC κωδίκων και της επιτυχημένης διαδικασίας για τη διόρθωση λαθών σε μεταδιδόμενα πακέτα πάνω διεπαφές και κόμβους LTE ενός δικτύου. Επικεντρωνόμαστε στην πειραματική αξιολόγηση του κατά πόσο αξιόπιστη είναι η μετάδοση δεδομένων αλλά και το πόσο μπορούν να διορθωθούν χαμένα τμήματα αρχείων συνδυάζοντας διαφορετικές μεθόδους διόρθωσης λαθών. Παράλληλα, γίνεται μία διερεύνηση για το κατά πόσο μπορεί να παρασχεθεί η MBMS υπηρεσία (με συνδυασμό των MBSFN και PTM τρόπων μετάδοσης) ως μέσο για την αύξηση της αποδοτικότητας των multicast μεταδόσεων.

Ειδικότερα, επικεντρωνόμαστε στη διαδικασία επιδιόρθωσης λαθών στα μεταδιδόμενα πακέτα δεδομένων λαμβάνοντας υπόψη την προαναφερθείσα ανάλυση κόστους. Για την πειραματική αξιολόγηση, των FEC μεθόδων χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Matlab για την εξομοίωση ενός LTE δικτύου με πραγματικές παραμέτρους. Για τη βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους μετάδοσης σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε ένα εργαλείο εξομοίωσης που εξετάζει διάφορες τοπολογίες LTE δικτύων και κάνει τη βέλτιστη επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου για μετάδοση (MBSFN και / ή PTM) πάνω από κάθε ένα κελί ενός LTE δικτύου με σκοπό τη μείωση του συνολικού τηλεπικοινωνιακού κόστους. Το εργαλείο εξομοίωσης διατίθεται στο ακόλουθο link: [http://ru6.cti.gr/ru6/MBSFN\\_exe.zip](http://ru6.cti.gr/ru6/MBSFN_exe.zip).

## ***1.2 Συνεισφορά Διπλωματικής Εργασίας***

Η συνεισφορά της διπλωματικής συνοψίζεται ως εξής:

1. Μελετήσαμε δίκτυα τεχνολογίας LTE σε ότι αφορά την αξιόπιστη multicast μετάδοση πακέτων δεδομένων μέσω των διεπαφών και των κόμβων τους καθώς και μεθόδους για τη διόρθωση λαθών που προκύπτουν κατά τη μετάδοση.
2. Αναλύσαμε το κόστος για μετάδοση σε multicast χρήστες πάνω από όλους τους κόμβους και τις διεπαφές στην τρέχουσα αρχιτεκτονική της MBMS υπηρεσίας για τα LTE δίκτυα.

3. Μελετήσαμε δύο σχήματα μετάδοσης, MBSFN και PTM, που συνιστούν την MBMS υπηρεσία.
4. Προτείνεται μία μέθοδος διόρθωσης λαθών για ασύρματα μεταδιδόμενα πακέτα που συνδυάζει τα οφέλη των FEC μεθόδων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο κατά την MBSFN όσο και στην PTM μετάδοσης.
5. Συγκρίνουμε διάφορες μεθόδους διόρθωσης λαθών που βασίζονται στις FEC τεχνικές και αξιολογούνται λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους του δικτύου σε ένα ρεαλιστικό περιβάλλον εξομοίωσης.
6. Υλοποιήσαμε δύο αλγορίθμους, ο ένας για τον υπολογισμό κόστους για τη διόρθωση λαθών στα μεταδιδόμενα πακέτα για διάφορους τρόπους διόρθωσης σε μία ποικιλία διαφορετικών τοπολογιών σε LTE δίκτυα και ο δεύτερος για τη βελτιστοποίηση αυτού του κόστους.
7. Αξιολογήσαμε την απόδοση των αλγορίθμων υπολογίζοντας το τηλεπικοινωνιακό κόστος απέναντι σε διάφορες παραμέτρους του δικτύου, για μία σταδιακά αυξανόμενη τοπολογία καθώς και για διάφορα σενάρια κίνησης χρηστών.
8. Υλοποιήσαμε ένα περιβάλλον εξομοίωσης σε Matlab για τον υπολογισμό τους κόστους μετάδοσης και διόρθωσης αρχείων (για τις FEC μεθόδους) καθώς και ένα εργαλείο εξομοίωσης σε Lua Programming Language για τη βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους για μία τοπολογία.

### ***1.3 Οργάνωση Κειμένου***

Η συνέχεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας δομείται σε κεφάλαια ως εξής:

- Το κεφάλαιο 2 παρουσιάζει μία επισκόπηση των κινητών δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς καθώς ασχολείται με την εξέλιξη των κινητών δικτύων, την LTE τεχνολογία και την υπηρεσία MBMS που αυτή προσφέρει, τους FEC μηχανισμούς και τη χρήση Raptor κωδίκων καθώς και τους πιθανούς τρόπους μετάδοσης πακέτων δεδομένων σε ένα δίκτυο LTE τεχνολογίας.

- Το κεφάλαιο 3 περιγράφει με λεπτομέρεια τη σχετική βιβλιογραφία με τη μελέτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας.
- Το κεφάλαιο 4 περιλαμβάνει τις λειτουργίες και την αρχιτεκτονική της τρέχουσας MBMS υπηρεσίας που παρέχεται από ένα LTE δίκτυο.
- Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μία επισκόπηση των FEC τεχνικών στην υπηρεσία MBMS στο επίπεδο εφαρμογής (application layer) ενός LTE δικτύου και δίνεται μια αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας διόρθωσης λαθών.
- Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 6 ακολουθεί μία ανάλυση κόστους μετάδοσης πάνω από όλες τις διεπαφές και τους υλικούς κόμβους ενός LTE δικτύου. Τα επιμέρους κόστη είναι: το κόστος για την polling διαδικασία, το κόστος για τη διέλευση δεδομένων μέσω της ασύρματης διεπαφής του δικτύου, το κόστος που υπάγεται στους υλικούς κόμβους του δικτύου καθώς και το κόστος για τη διαδικασία συγχρονισμού.
- Στο κεφάλαιο 7, παρουσιάζονται οι δύο αλγόριθμοι που προτείνονται στην παρούσα εργασία: ο πρώτος για την εκτίμηση του κόστους για διάφορες μεθόδους διόρθωσης λαθών και διαμορφώσεις της τοπολογίας του δικτύου και ο δεύτερος αλγόριθμος που υλοποιεί το εργαλείο για τη βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους (για μετάδοση δεδομένων και διόρθωσης λαθών).
- Στο κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της εξομοίωσης για διάφορα είδη πειραμάτων.
- Στην ενότητα 9 συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία και δίνονται και ιδέες και μελλοντικές της επεκτάσεις.
- Στο παράρτημα I παρατίθενται οι δημοσιεύσεις της συγγραφέως που έχουν σχέση με την παρούσα διπλωματική εργασία ενώ στο παράρτημα II οι παραθέσεις των σχετικών εργασιών.
- Στο παράρτημα II βρίσκεται η σχετική βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

- Στο παράρτημα IV υπάρχει μία λίστα με τα ακρώνυμα της διπλωματικής εργασίας με την επεξήγηση τους.
- Στο παράρτημα V βρίσκονται οι κυριότερες συναρτήσεις του κώδικα υλοποίησης της διπλωματική εργασίας για την πραγματοποίηση των εξομοιώσεων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

# 2

## *Κινητά Δίκτυα*

### *Τηλεπικοινωνιών 4ης*

### *Γενιάς*

#### *2.1.1 Ιστορική Εξέλιξη των Κινητών Δικτύων Τηλεπικοινωνιών*

Ιστορικά, η ανάπτυξη στον τομέα των κινητών επικοινωνιών γίνεται ρυθμό που συμβαδίζει στενά με τις τεχνολογικές εξελίξεις. Η ιδέα της παροχής ασύρματης επικοινωνίας στους κατοίκους μιας σχετικά μεγάλης έκτασης δεν είχε καν συλληφθεί, μέχρι τη στιγμή που τα εργαστήρια Bell ανέπτυξαν την έννοια της κυβελωτής επικοινωνίας στη δεκαετία του '60. Πρακτικά, η εποχή της ασύρματης επικοινωνίας ξεκίνησε στη δεκαετία του '70, όπου αναπτύχθηκε αξιόπιστο hardware για ραδιοσυχνότητες.

Μέχρι σήμερα υπάρχουν τρεις ξεκάθαρες γενιές κινητών ασύρματων δικτύων, οι οποίες ορίζονται από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνταν στην ραδιοζεύξη και στην μεταφορά των δεδομένων. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει σύντομη αναδρομή στην ιστορία των ασύρματων δικτύων, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της εξέλιξης της τεχνολογίας και των συστημάτων που τελικά καθιερώθηκαν [1], [2].

Θα αναφερθούμε εν συντομία στους προκατόχους των 4G δικτύων και στις αναβαθμίσεις που έγιναν στα συστήματα της πρώτης και δεύτερης γενιάς, ώστε τελικά να προκύψουν οι πολύ υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης και υψηλή ποιότητα υπηρεσιών των σημερινών 3G συστημάτων. Προχωρώντας προς τα 4G η ιδέα είναι τα



all-IP δίκτυα, δηλαδή οποτεδήποτε και οπουδήποτε βρίσκεται ένας κινητός χρήστης να έχει κάλυψη από οποιοδήποτε IP δίκτυο, είτε πρόκειται για ασύρματο με κυψέλες, είτε για WLAN, είτε δορυφορικό. Συνεχώς γίνονται προσπάθειες βελτίωσης των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών των δικτύων για σύγκλιση τους προς τα all-IP δίκτυα και την απρόσκοπτη διασφάλιση της κινητικότητας του χρήστη. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στα LTE δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς.

Τα δίκτυα της πρώτης γενιάς εμφανίστηκαν στην δεκαετία του 1980 και ήταν αναλογικά. Δεν αποτέλεσαν την αρχή των κινητών επικοινωνιών, καθώς προϋπήρχαν δίκτυα κινητών επικοινωνιών, τα οποία δεν ήταν κυψελωτά. Η πρώτη γενιά χρησιμοποιούσε τεχνικές αναλογικής μετάδοσης για την κίνηση αποκλειστικά φωνής και η υποστήριξη της κινητικότητας των χρηστών ήταν υποτυπώδης και προβληματική.

Η τεχνική πολυπλεξίας που χρησιμοποίησε η πρώτη γενιά ήταν πολλαπλή προσπέλαση με διαίρεση συχνότητας Frequency Division Multiply Access (FDMA). Δεν υπήρχε κάποιο πρότυπο που να επικράτησε αλλά διάφορα ανταγωνιστικά συστήματα. Τα κυριότερα και πιο πετυχημένα συστήματα που αναπτύχθηκαν είναι: Total Access Communication System (TACS), Nordic Mobile Telephone (NMT) και Advanced Mobile Phone Service (AMPS).

Στη δεύτερη γενιά κυψελωτών συστημάτων χρησιμοποιείται ψηφιακή μετάδοση για την κίνηση, σε αντίθεση με την πρώτη γενιά. Αρχικά σχεδιάστηκε για μεταφορά κλήσεων, σαν σύστημα μεταγωγής κυκλωμάτων (circuit switched system) και το σύστημα βελτιστοποιήθηκε για κίνηση φωνής. Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς έχουν σαφώς μεγαλύτερη χωρητικότητα και περισσότερες δυνατότητες από αυτά της πρώτης.

Ένα κανάλι συχνοτήτων διαιρείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλούς διαφορετικούς χρήστες, είτε με διαίρεση χρόνου, είτε με διαίρεση κώδικα. Επιπλέον χρησιμοποιούνται ιεραρχικές δομές κελιών, δηλαδή η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε μακροκυψέλες (macrocells), μικροκυψέλες (microcells) και πικοκυψέλες (picocells), με σκοπό την περαιτέρω αύξηση των δυνατοτήτων των δικτύων. Υπάρχουν τέσσερα κύρια πρότυπα για τα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς: Global System for Mobile (GSM) communications και τα παράγωγα του Digital AMPS (D-AMPS), Code Division Multiple Access (CDMA) IS-95 καθώς και Personal Digital Cellular (PDC).

Ο όρος «γενιά 2,5» αναφέρεται στο σύνολο των αναβαθμίσεων που έγιναν στα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς. Πολλές από αυτές τις αναβαθμίσεις παρέχουν σχεδόν τις ίδιες δυνατότητες με αυτές των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς. Παρόλο που η διαχωριστική γραμμή μεταξύ των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς και αυτών της γενιάς 2,5 είναι λεπτή, υπάρχουν ορισμένες τεχνολογίες οι οποίες χαρακτηρίζουν τη γενιά 2,5, όπως η High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD), η General Packet Radio Services (GPRS) και η Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE).

Η γρήγορη εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών ήταν ένα από τα αναμφισβήτητα γεγονότα της δεκαετίας του 1990. Το Δεκέμβρη του 2002 υπήρχαν παγκοσμίως 780 εκατομμύρια συνδρομητές σε δίκτυα GSM, οι οποίοι συνιστούσαν το 71% του συνολικού αριθμού των χρηστών κινητής τηλεφωνίας [1]. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο GSM λειτούργησε στη Φινλανδία το 1991. Την ίδια χρονιά, το ίδρυμα European Telecommunications Standards Institute (ETSI) ξεκινούσε την προτυποποίηση της επόμενης γενιάς δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών.

Το σύστημα που προέκυψε ονομάστηκε Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Η ανάπτυξη των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς δεν έγινε μόνο στο ETSI. Υπήρξαν πολλοί οργανισμοί και ερευνητικά ιδρύματα, σε παγκόσμιο επίπεδο, που προσπάθησαν να αναπτύξουν συστήματα τρίτης γενιάς. Το UMTS θεωρείται πλέον το κυρίαρχο πρότυπο στα 3G δίκτυα και έπεται το πρότυπο US CDMA2000. Στην Ιαπωνία, που είναι η πιο εξελιγμένη χώρα όσον αφορά την 3G τεχνολογία, η μετάβαση από τα 2G στα 3G δίκτυα ολοκληρώθηκε το 2006 και πλέον δύο συστήματα χρησιμοποιούνται, το W-CDMA (που είναι συμβατό με το σύστημα UMTS) και το CDMA2000.

Η επόμενη γενιά μετά την 3G είναι η HSPA (3,5G). Η γενιά 3.5, περιλαμβάνει τα δίκτυα εκείνα όπου, εκτός από την τεχνολογία WCDMA, έχουν ενσωματώσει και την τεχνολογία High Speed Downlink Packet Access (HSDPA). Το πρότυπο αυτό, αφορά την μετάδοση πακέτων από το σταθμό βάσης προς το χρήστη (downlink) με ρυθμό 5 φορές μεγαλύτερο του UMTS και 15 φορές μεγαλύτερο του GPRS. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι από τα 2 Mbps που μπορεί να προσφέρει το UMTS ο ρυθμός μπορεί να φτάσει θεωρητικά μέχρι και τα 14.4 Mbps.

Το HSDPA θεωρείται ως μια εξέλιξη του UMTS προτύπου, παρέχοντας στους χρήστες υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και μεγαλύτερη χωρητικότητα, με ένα τρόπο ανάλογο με αυτό που προσφέρει το EDGE πρότυπο συγκρινόμενο με το

GSM. Παρόλο που κάποια μέρη του προτύπου αυτού θεωρούνται απλά στο να υλοποιηθούν με το υπάρχον hardware, το HSDPA σαν γενικότερη έννοια απαιτεί επανασχεδιασμό στην αρχιτεκτονική του δικτύου και αναβάθμιση στο υλικό, όπως αυτό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στους σταθμούς βάσης. Οι τελευταίοι, θα πρέπει να είναι ικανοί όχι μόνο να λειτουργούν αποδοτικά με τέτοιους υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, αλλά και να υποστηρίζουν τη λειτουργία περισσότερο πολύπλοκων πρωτοκόλλων.

Η λειτουργία του HSDPA στηρίζεται στο γεγονός ότι αντί να χρησιμοποιούνται ξεχωριστά Dedicated Channel (DCH) κανάλια για την αποστολή δεδομένων, θα χρησιμοποιείται ένα Downlink Shared Channel (DSCH) κανάλι το οποίο θα μοιράζονται μεταξύ τους οι χρήστες για την μεταφορά των πακέτων. Το κανάλι αυτό έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης (bandwidth) και για το λόγο αυτό καλείται high-speed DSCH (HS-DSCH).

Στη συνέχεια η 4G γενιά, η οποία είναι σε εξέλιξη. Εδώ εντάσσονται τεχνολογίες όπως LTE όπου μελετάται και στην παρούσα διπλωματική εργασία. Η επίτευξη ενός 4G ολοκληρωμένου συστήματος ασυρμάτων επικοινωνιών ουσιαστικά επιτυγχάνεται με την τεχνολογική εξέλιξη με την ονομασία LTE. Σε σχέση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες GSM, GPRS, EDGE, W-CDMA και το HSPA αυξάνει την χωρητικότητα του δικτύου, του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων ενώ ταυτόχρονα μειώνει τις καθυστερήσεις.

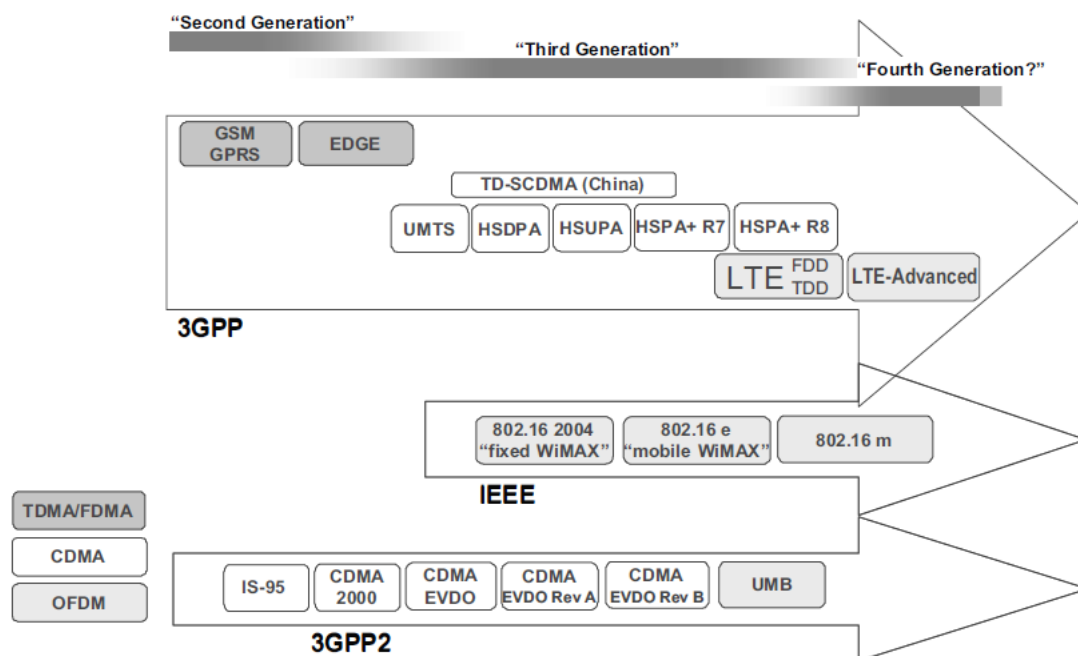
Ο οργανισμός 3GPP είναι μια συνεργασία των οργανισμών τηλεπικοινωνιών παγκοσμίως, με σκοπό την δημιουργία παγκόσμιου συστήματος κινητής τηλεφωνίας με τυποποιημένα τεχνικά χαρακτηριστικά. Οι προδιαγραφές του 3GPP, βασίζονται σε μια εξέλιξη των προδιαγραφών του συστήματος GSM. Οι ομάδες που συνθέτουν τον οργανισμό είναι : European Telecommunications Standards Institute, Association of Radio Industries and Businesses / Telecommunication Technology Committee (ARIB/TTC) (Japan), China Communications Standards Association, Alliance for Telecommunications Industry (North America) and Telecommunications Technology Association (South Korea). Η συνεργασία πρωτοκαθιερώθηκε τον Δεκέμβριο του 1998.

Το 3GPP λοιπόν, συγκεκριμενοποιεί τις προδιαγραφές του LTE στο Release 8 και στο Release 9 και υπόσχεται ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 300 Mbps στην κάτω

ζεύξη με χρήση κεραιών MIMO 4x4 και 75Mbps στην άνω ζεύξη με απλή κεραία για κάθε 20 MHz του ταξινομημένου κατά ζεύγος φάσματος.

Τα πλεονεκτήματα της 4G είναι κυρίως η αποδοτικότητα φάσματος του συστήματος, η υψηλή χωρητικότητα του δικτύου, η υψηλή ποιότητα υπηρεσιών για την υποστήριξη των πολυμέσων της επόμενης γενιάς, η τεχνολογία για το packet switched network και το global roaming. Θα χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει σε ποιότητα και αξία τις απαιτήσεις των εφαρμογών της τέταρτης γενιάς που αναμένονται, όπως mobile TV, και υπηρεσίες φωνής και δεδομένων οπουδήποτε και σε οποιαδήποτε στιγμή.

Στόχος της γενιάς αυτής είναι η ανάπτυξη συστημάτων πλήρως βασισμένα στην τεχνολογία IP. Αυτό πρόκειται να επιτευχθεί με την σύγκλιση ενσύρματων και ασύρματων τεχνολογιών και θα είναι δυνατόν να παρέχουν ταχύτητες μετάδοσης από 100 Mbps έως και 1 Gbps, με εξαιρετική ποιότητα και υψηλό επίπεδο ασφαλείας. Οι κυρίαρχες τεχνολογίες θα είναι η τεχνολογία Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) και επίσης Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) για την καλύτερη τοποθέτηση πολλαπλών χρηστών. Τέλος η 4G τεχνολογία θα βασίζεται μόνο σε μεταγωγή πακέτων, σε αντίθεση με τη 3G που υποστήριζε μετάδοση και με μεταγωγή κυκλωμάτων.



Εικόνα 1. Η εξέλιξη των κινητών δικτύων.

## 2.1.2 Long Term Evolution Δίκτυα και Multimedia Broadcast / Multicast

### Υπηρεσίας

Ο όρος LTE εκφράζει ένα από τα τελευταία σημαντικά βήματα στις κινητές ραδιοεπικοινωνίες, και εισήχθη στην έκδοση 8 (Release 8) του 3GPP. Αυτή η τεχνολογία στοχεύει στην εκπλήρωση των απαιτήσεων των δικτύων επόμενης γενεάς συμπεριλαμβανομένων των μέγιστων downlink ταχυτήτων (peak rates) 100Mbps, 50 Mbps στο uplink και roundtrip χρόνος λιγότερο από 10ms στο δίκτυο πρόσβασης (RAN). Η τεχνολογία LTE υποστηρίζει τα εύκαμπτα ραδιοευρυζωνικά σχήματα (flexible carrier bandwidths) από 1.4MHz μέχρι 20MHz καθώς επίσης και τα γνωστά ντούμπλεξ σχήματα Frequency Division Duplexing (FDD) και Time Division Duplexing (TDD).

Η τεχνολογία LTE εστιάζει αποκλειστικά στη βελτιστοποίηση υποστήριξης και μετάδοσης εφαρμογών μεταγωγής πακέτων, όπως είναι οι πολυμεσικές εφαρμογές. Επίσης, θέτει πολύ υψηλούς και φιλόδοξους στόχους προκειμένου να ξεπεράσει τα όρια των 14.4 Mbps και 5.8 Mbps που επιτυγχάνονται στο πρότυπο HSDPA και High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) αντίστοιχα. Οι βασικότερες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί το πρότυπο LTE αναφέρονται στη συνέχεια [1], [3]:

- **Εύρος Ζώνης:** Κλιμακωτή χρήση φάσματος εύρους ζώνης της τάξης των 5, 10, 15 και 20 MHz. Επίσης, μπορεί να γίνει και χρήση εύρους ζώνης μικρότερου των 5 MHz (1.5 MHz και 2.5 MHz) για επιπλέον ευελιξία.
- **Ρυθμοί Μετάδοσης:** Επίτευξη μέγιστων ρυθμών μετάδοσης της τάξης των 100 Mbps στον κατερχόμενο και 50 Mbps στον ανερχόμενο σύνδεσμο για εύρος ζώνης ίσο με 20 MHz.
- **Mode Λειτουργίας:** Λειτουργία της τεχνολογίας LTE τόσο σε FDD όσο και TDD mode.
- **Throughput (Ρυθμοαπόδοση):** Επίτευξη 3-4 φορές μεγαλύτερου μέσου throughput χρήστη ανά MHz στον κατερχόμενο σύνδεσμο και αντίστοιχα 2-3 φορές μεγαλύτερης για τον ανερχόμενο σύνδεσμο συγκριτικά με τις εκδόσεις 6 και 7 του προτύπου 3GPP (HSDPA και HSUPA).

- **Αποδοτικότητα φάσματος:** Επίτευξη 2-3 φορές μεγαλύτερης αποδοτικότητας φάσματος σε σχέση με την έκδοση 6 του προτύπου 3GPP (HSDPA).
- **Καθυστερήση:** Σημαντική μείωση του χρόνου Round Trip Time (RTT) από το χρήστη έως το σταθμό βάσης στα 5 ms - 10 ms.
- **Κινητικότητα Χρηστών:** Δυνατότητα βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος για χαμηλές ταχύτητες κίνησης των χρηστών (0-15 χμ/ώρα) καθώς και δυνατότητα υποστήριξης χρηστών που κινούνται σε πολύ υψηλές ταχύτητες.
- **Διαλειτουργικότητα:** Δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας με μη-3GPP πρότυπα επικοινωνιών καθώς και με τα υπάρχοντα Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) / GSM / EDGE Radio Access Network GERAN, EDGE - Enhanced Data Rates for Global Evolution (GSM/EDGE), Radio Access Network (GERAN) συστήματα κινητών επικοινωνιών. Επίσης, υποστήριξη δυνατότητας handover από και προς τα συστήματα αυτά.
- **Ποιότητα Υπηρεσίας:** Υποστήριξη από άκρο σε άκρο ποιότητας υπηρεσίας QoS, για την υποστήριξη απαιτητικών υπηρεσιών σε QoS όπως είναι οι VoIP εφαρμογές.

Για την επίτευξη των παραπάνω απαιτήσεων είναι προφανές ότι η τεχνολογία LTE βασίζεται σε βέλτιστες τεχνολογίες μετάδοσης πληροφορίας στο ασύρματο τμήμα του δικτύου πρόσβασης. Μία από τις κύριες τεχνολογίες αυτές που υιοθετεί η τεχνολογία LTE είναι το OFDM. Κύριος λόγος υιοθέτησης του OFDM ως μοντέλου διαμόρφωσης για το LTE είναι η μεγάλη αντοχή που επιδεικνύει σε περιβάλλοντα εξασθένησης σήματος και παρεμβολών [1].

Ειδικότερα, για την περίπτωση της μετάδοσης δεδομένων στον downlink σύνδεσμο, η OFDM τεχνολογία διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο, και είναι αυτή που προτείνεται από το 3GPP ως η πλέον κατάλληλη τεχνική. Η OFDM αποτελεί μία εξ' ολοκλήρου ψηφιακή προσέγγιση πολυπλεξίας πληροφορίας, η οποία κάνει χρήση του Fast Fourier Transform (FFT) για να διαχωρίσει το σήμα σε μικρού εύρου ζώνης επικαλυπτόμενα κανάλια. Τα κανάλια αυτά χαρακτηρίζονται από την κοινή ιδιότητα της μεταξύ τους ορθογωνιότητας, γεγονός που οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση φάσματος.

Παράλληλα, για τον uplink σύνδεσμο, στο πρότυπο LTE προτείνεται η χρήση της τεχνολογίας Single Carrier OFDM (SC-OFDM). Στο σημείο αυτό, η τεχνολογία LTE διαφοροποιείται από το πρότυπο Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX), το οποίο χρησιμοποιεί την OFDMA τεχνική για τον ανερχόμενο σύνδεσμο.

Η OFDMA τεχνική, παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματά της, μπορεί να αποβεί ανασταλτικός παράγοντας για τη μπαταρία των κινητών συσκευών των χρηστών, καθώς απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ισχύος. Για το λόγο αυτό, στην τεχνολογία LTE υιοθετείται η SC-OFDM τεχνική.

Η SC-OFDM τεχνική παρουσιάζει ιδιαίτερα καλή απόδοση, αφού έχει και πολύ υψηλό λόγο Peak-to-Average Ratio (PAR) σήματος. Ο λόγος PAR είναι πολύ κρίσιμη μετρική για το uplink, και σχετίζεται άμεσα με την κατανάλωση ισχύος. Επιπλέον, η SC-OFDM τεχνική επιτρέπει υψηλή απόδοση και μικρή πολυπλοκότητα υλοποίησης της κεραίας του σταθμού βάσης. Εν γένει, η SC-OFDM τεχνική επιφέρει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης στον ανερχόμενο σύνδεσμο, κυρίως όταν ο χρήστης βρίσκεται κοντά στο σταθμό βάσης.

Τέλος, μια ακόμη τεχνολογία που υπόσχεται ακόμη μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αυξημένη κάλυψη δικτύου και χωρητικότητα στην τεχνολογία LTE είναι η Multiple Input-Multiple Output (MIMO) τεχνική. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία MIMO συνίσταται στην ύπαρξη πολλαπλών κεραιών τόσο στον πομπό-σταθμό βάσης όσο και στο δέκτη-συσκευή του χρήστη.

Για την περίπτωση της τεχνολογίας LTE, σε πρώτη φάση η ύπαρξη MIMO πολλαπλών κεραιών 2x2 (δύο κεραιές στο σταθμό βάσης και δύο κεραιές στη συσκευή του χρήστη) θεωρείται απαραίτητο στοιχείο για την επίτευξη υψηλής απόδοσης. Σε μεταγενέστερη φάση ανάπτυξης είναι δυνατόν να γίνει χρήση συστημάτων MIMO 4x4. Στο MIMO διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Το Spatial Multiplexing (στο οποίο η πληροφορία διαχωρίζεται σε stream τα οποία μεταδίδονται ταυτόχρονα σε διαφορετικές κεραιές) και το Transmit Diversity [3].

Η τεχνολογία LTE επιτρέπει τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες. Μέσω της εξέλιξης της τεχνολογίας MBMS σε evolved MBMS επιτρέπει και την παροχή multicast υπηρεσιών ψηφιακού

περιεχομένου, ταυτόχρονα με τις υπηρεσίες δεδομένων, πιο αποδοτικά και με περισσότερες δυνατότητες όσον αφορά στη χωρητικότητα και στον αριθμό των προσφερόμενων καναλιών.

Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία LTE ουσιαστικά παρέχει βελτιωμένη ποιότητα, υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και μικρότερη καθυστέρηση για τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από την τεχνολογία HSPA+, και δύναται επιπρόσθετα να υποστηρίξει μέσω της τεχνολογίας evolved MBMS:

- Μετάδοση υψηλής ποιότητας περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο – Streaming υπηρεσίες ήχου και εικόνας: τηλεόραση, ραδιόφωνο. Το μεταδιδόμενο περιεχόμενο μπορεί να μεταφέρεται σε πραγματικό χρόνο ή να είναι αποθηκευμένο και να αναμεταδίδεται.
- Υπηρεσίες παρεχόμενες/διαφοροποιούμενες ανά εντοπισμένη περιοχή εξυπηρέτησης - δυνατότητα συνδυασμού εθνικών και τοπικών προγραμμάτων τηλεόρασης ή άλλου περιεχομένου ανά γεωγραφική περιοχή, multicast μετάδοση τουριστικού περιεχομένου (video-clips, διαφημίσεις) με πληροφορίες για φεστιβάλ, εστιατόρια, ξενοδοχεία, μουσεία κοκ [1].

Κατά τη διάρκεια της μετάδοσης δεδομένων σε ένα δίκτυο διαδίδεται το περιεχόμενο πληροφορίας σε ένα κοινό πολλαπλών χρηστών. Η διάδοση πολυμεσικών ασύρματων υπηρεσιών απαιτεί ένα αποδοτικό σύστημα μετάδοσης για την ταυτόχρονη διάδοση περιεχομένου σε μεγάλες ομάδες κινητών χρηστών. Υπάρχουν τρεις πιθανοί τύποι μετάδοσης σε πολλούς χρήστες:

- **Unicast:** Μία διπλής κατεύθυνσης από άκρη-σε-άκρη (point-to-point) μετάδοση μεταξύ του δικτύου και καθενός από τους πολλαπλούς χρήστες. Το δίκτυο παρέχει μία αποκλειστική σύνδεση σε κάθε τερματικό και το ίδιο περιεχόμενο μεταδίδεται πολλές φορές σε αυτόνομους χρήστες που το ζητούν.
- **Broadcast:** Μία σύνδεση του κατερχόμενου συνδέσμου (downlink) τύπου point-to-multipoint από το δίκτυο σε πολλαπλά τερματικά. Το περιεχόμενο μεταδίδεται μία φορά σε όλα τα κινητά τερματικά σε μία γεωγραφική περιοχή και οι χρήστες κάνουν την επιλογή αν θα το αποδεχτούν ή όχι.



- **Multicast:** Μία σύνδεση του κατερχόμενου συνδέσμου (point-to-multipoint) από το δίκτυο σε ένα ελεγχόμενο σύνολο τερματικών. Το περιεχόμενο μεταδίδεται μία φορά στο ελεγχόμενο σύνολο χρηστών και μόνον αυτοί οι χρήστες μπορούν να λάβουν το συγκεκριμένο περιεχόμενο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μελέτη της αξιοπιστίας στον multicast τρόπο μετάδοσης σε δίκτυα LTE τεχνολογίας.

### **2.1.3 Forward Error Correction Μηχανισμοί**

Γενικότερα στη βιβλιογραφία, έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι για την εξασφάλιση αξιοπιστίας κατά τη multicast μετάδοση δεδομένων. Η πιο γνωστή μέθοδος είναι η Automatic Repeat re-Quest (ARQ) η οποία δουλεύει αποτελεσματικά κυρίως κατά την unicast μετάδοση. Όταν η μέθοδος ARQ εφαρμόζεται σε μία multicast σύνοδο, οι αποδέκτες στέλνουν αιτήσεις για αναμετάδοση χαμένων πακέτων μέσω καναλιών επικοινωνίας προς τον αποστολέα. Η μέθοδος ARQ γενικά είναι σχετικά αποτελεσματική κατά τη multicast μετάδοση και αποτελεί ένα αξιόπιστο εργαλείο.

Παρόλα αυτά, όταν ο αριθμός των αποδεκτών αυξάνει, οι περιορισμοί στις δυνατότητες της μεθόδου αυτής αποκαλύπτονται. Ένας σημαντικός περιορισμός είναι το πρόβλημα του καταιγισμού ανατροφοδοτήσεων. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει όταν πολλοί αποδέκτες στέλνουν ταυτόχρονα αιτήσεις για αναμετάδοση στον αποστολέα.

Ένα δεύτερο πρόβλημα είναι ότι, για ένα δεδομένο ρυθμό απώλειας πακέτων, όσο ο αριθμός των αποδεκτών αυξάνει, τόσο η πιθανότητα να αναμεταδοθεί ένα πακέτο τείνει προς τη μονάδα. Με άλλα λόγια, ένας μεγάλος μέσος αριθμός από μεταδόσεις χρειάζονται για κάθε πακέτο. Σε ένα ασύρματο περιβάλλον, η μέθοδος ARQ έχει ένα ακόμα μεγάλο μειονέκτημα το οποίο οφείλεται στην προϋπόθεση ύπαρξης αμφίδρομου συνδέσμου επικοινωνίας.

Πιο συγκεκριμένα, στα περισσότερα ενσύρματα δίκτυα είναι αυτονόητο ότι το κανάλι ανατροφοδότησης παρέχεται από το δίκτυο. Αντίθετα, στα κινητά δίκτυα η μετάδοση της ανατροφοδότησης από τον αποδέκτη μπορεί να κοστίζει ακριβώς είτε με όρους κατανάλωσης ισχύος είτε λόγω περιορισμών στην τηλεπικοινωνιακή υποδομή.

Το FEC είναι μία μέθοδος ελέγχου λαθών η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συμπληρώσει ή να αντικαταστήσει άλλες μεθόδους για αξιόπιστη μετάδοση

δεδομένων. Το βασικό χαρακτηριστικό των μηχανισμών FEC είναι ότι ο αποστολέας προσθέτει επιπλέον πληροφορία στα μηνύματα προς τον αποδέκτη. Αυτά τα επιπλέον δεδομένα δίνουν τη δυνατότητα στον αποδέκτη να ανακατασκευάσει την αρχική πληροφορία. Αναπόφευκτα, αυτού του είδους οι μηχανισμοί προκαλούν μία σταθερή επιβάρυνση στον όγκο των μεταδιδόμενων δεδομένων και είναι υπολογιστικά ακριβοί.

Στα multicast πρωτόκολλα όμως, η χρήση των τεχνικών FEC έχει πολύ δυνατά πλεονεκτήματα. Η κωδικοποίηση περιορίζει το φαινόμενο των ανεξάρτητων απωλειών πακέτων σε διαφορετικούς αποδέκτες. Αυτό κάνει τους μηχανισμούς αυτούς να μπορούν να κλιμακωθούν σε πολλούς αποδέκτες ανεξάρτητα από το ρυθμό απώλειας πακέτων. Επιπλέον, η δραματική μείωση στο ρυθμό απώλειας πακέτων περιορίζει σημαντικά την ανάγκη για την αποστολή ανατροφοδότησης στον αποδέκτη.

Επομένως, ένα κανάλι ανατροφοδότησης μπορεί να μην είναι απαραίτητο ή αν χρησιμοποιείται τέτοιου είδους κανάλι, η πιθανότητα εμφάνισης καταγισμού από ανατροφοδοτήσεις εκμηδενίζεται. Είναι προφανές ότι οι μηχανισμοί FEC είναι τόσο απλοί ώστε να εξυπηρετούν ένα από τους βασικούς στόχους των multicast κινητών υπηρεσιών και ο οποίος είναι η επεκτασιμότητα σε εφαρμογές με χιλιάδες χρηστών. Αυτός είναι και ο λόγος που το 3GPP συστήνει τη χρήση του FEC επιπέδου εφαρμογής για την υπηρεσία MBMS και πιο συγκεκριμένα υιοθετεί τη χρήση του κώδικα Raptor FEC [4], [5].

Εκτός από την FEC προστασία, η υπηρεσία MBMS προσφέρει δύο επιπλέον τύπους διαδικασιών για διόρθωση λαθών: η πρώτη διαδικασία χρησιμοποιεί αλληλεπιδρόμενους φορείς της υπηρεσίας και η δεύτερη MBMS φορείς της υπηρεσίας. Στην περίπτωση της διαδικασίας διόρθωσης λαθών ο MBMS πελάτης περιμένει μέχρι το τέλος της συνόδου μετάδοσης και στη συνέχεια εντοπίζει τα τμήματα του αρχείου που λείπουν.

Στη συνέχεια, υπολογίζει ένα τυχαίο χρόνο μέσα στον οποίο θα ζητήσει τα χαμένα τμήματα και επιλέγει τυχαία έναν file repair server από τη λίστα των διαθέσιμων servers. Ο επιλεγμένος file repair server αποκρίνεται με χρήση ενός μηνύματος απάντησης για διόρθωση που είτε περιέχει τα δεδομένα που ζητήθηκαν προωθώντας τον πελάτη σε μία MBMS download σύνοδο (ή σε κάποιο άλλον server) είτε εναλλακτικά περιγράφει περίπτωση εμφάνισης λάθους. Η απόδοση των

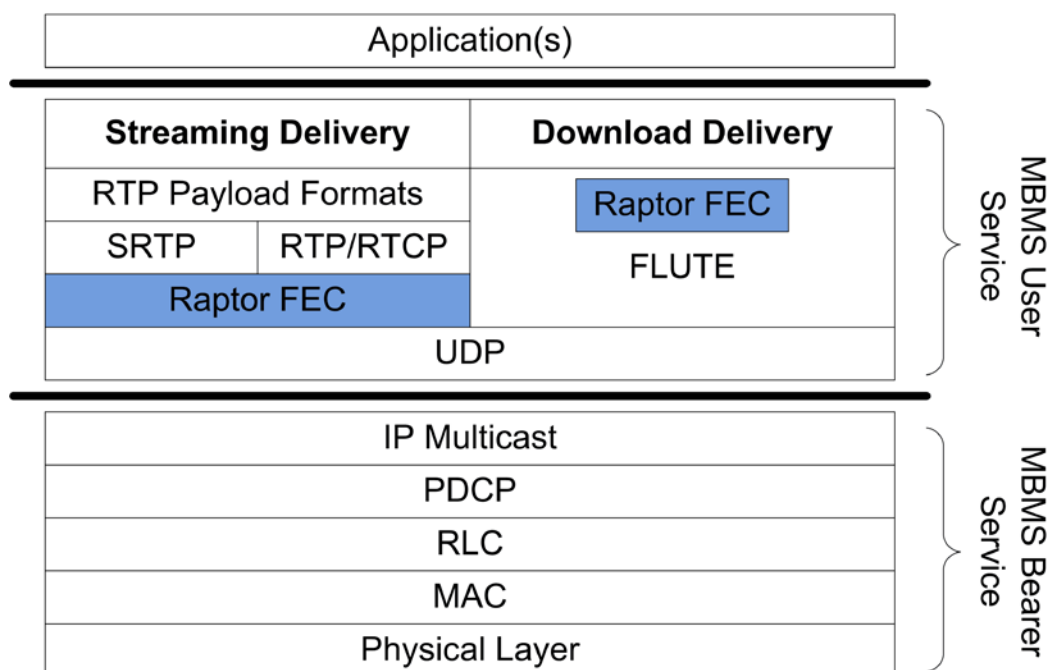
διαδικασιών για τη διόρθωση λαθών μετά την αρχική μετάδοση που περιγράφηκε αναλύεται λεπτομερώς στις ερευνητικές εργασίες [6] [7].

### 2.1.4 Raptor Κώδικες

Προκειμένου να βελτιώσει την αξιοπιστία των μεταδόσεων της υπηρεσίας MBMS ο οργανισμός 3GPP έθεσε στο πρότυπο τη χρήση των κωδίκων Raptor ως την κωδικοποίηση FEC για το επίπεδο της εφαρμογής [8]. Κατά συνέπεια, οι δύο μέθοδοι μετάδοσης της υπηρεσίας MBMS, η μέθοδος streaming και η μέθοδος download, θέτουν ως απαραίτητη υποχρέωση την υποστήριξη των κωδίκων Raptor από τους κινητούς εξοπλισμούς User Equipment (UE) [4].

Κατά τη μέθοδο streaming, ο κώδικες Raptor εφαρμόζονται στο επίπεδο εφαρμογής (application layer) πάνω από το επίπεδο του πρωτοκόλλου User Datagram Protocol (UDP). Αυτό μπορεί να γίνει είτε μεμονωμένα, είτε σε δέσμες από ροές UDP. Από την άλλη πλευρά, κατά την μέθοδο download, το πρωτόκολλο FLUTE χρησιμοποιεί τους κώδικες Raptor προκειμένου να παρέχει αξιοπιστία [9], [10].

Η Εικόνα 2 απεικονίζει τον τρόπο που η κωδικοποίηση FEC με κώδικες Raptor ενσωματώνεται στην στοίβα των πρωτοκόλλων για την παροχή της υπηρεσίας MBMS για τις υπηρεσίες streaming και download.



Εικόνα 2. Η στοίβα πρωτοκόλλων για την υπηρεσία MBMS.

Οι κώδικες Raptor, εκτός από το ότι προσφέρουν αυξημένη αξιοπιστία στο σύστημα, χαρίζουν επίσης μεγάλο βαθμό ελευθερίας στην επιλογή των παραμέτρων. Οι κώδικες Raptor είναι κώδικες fountain (σιντριβανιού). Αυτό σημαίνει όσα επιπρόσθετα σύμβολα κωδικοποίησης χρειάζονται μπορούν να δημιουργηθούν άμεσα από τον κωδικοποιητή από τα αρχικά σύμβολα ενός αρχικού συνόλου δεδομένων.

Ο αποκωδικοποιητής είναι ικανός να ανακτήσει το αρχικό σύνολο από δεδομένα λαμβάνοντας ένα πλήθος από κωδικοποιημένα σύμβολα τα οποία είναι ελάχιστα περισσότερα σε σχέση με τον αρχικό αριθμό συμβόλων. Επομένως, οι κώδικες Raptor έχουν μία λειτουργία που πλησιάζει την ιδανική λειτουργία ενός κώδικα αυτού του είδους και η οποία θα μπορούσε να ανακτήσει τα αρχικά δεδομένα από οποιοδήποτε σύνολο από κωδικοποιημένα σύμβολα που έχουν πλήθος ακριβώς όσο και τα αρχικά σύμβολα πριν την κωδικοποίηση.

### **2.1.5 Τρόποι Μετάδοσης Δεδομένων σε Multicast Χρήστες σε ένα LTE**

#### **δίκτυο**

Οι διαθέσιμες μέθοδοι για μετάδοση multicast δεδομένων σε ένα ασύρματο δίκτυο είναι η Point-To-Multipoint (PTM) και η MBMS over a Single Frequency Network (MBSFN).

Η MBSFN μέθοδος έχει προτυποποιηθεί από τον οργανισμό 3GPP και επιτρέπει τη συγχρονισμένη μετάδοση δεδομένων από μία πηγή προς πολλούς παραλήπτες [11]. Βελτιώνει την δυνατότητα κλιμάκωσης της μετάδοσης και πολλαπλής διανομής multicast και broadcast δεδομένων με τη χρήση ενός κοινού καναλιού για αποστολή των ίδιων δεδομένων σε πολλαπλούς χρήστες. Έτσι ελαχιστοποιείται η χρήση των πόρων του δικτύου. Από την άλλη πλευρά, η χρήση αυτής της μεθόδου είναι ακόμη περιορισμένη κυρίως λόγω απόδοσης των κινητών χρηστών (UEs) καθώς κινούνται σε επικαλυπτόμενες περιοχές και επηρεάζονται από φαινόμενα παρεμβολών, όπως πχ η Inter-Symbol Παρεμβολή (ISI).

Για τη βελτίωση της μετάδοσης των πολυμεσικών δεδομένων, ειδικότερα στις ακραίες περιοχές ενός κελιού, η LTE τεχνολογία χρησιμοποιεί την τεχνική OFDM για τη μετάδοση της MBMS υπηρεσίας. Πρακτικά φαίνεται σαν να μεταδίδεται πληροφορία από πολλά κελιά μέσω ενός συγχρονισμένου Single Frequency Network (SFN) δικτύου (δηλαδή μέσω του MBSFN τρόπου μετάδοσης).

Ο MBSFN τρόπος μετάδοσης ενεργοποιεί μία πιο αποδοτική λειτουργία της MBMS υπηρεσίας, επιτρέποντας το συνδυασμό ασύρματων επικοινωνιών για αποστολή δεδομένων προς τους UEs [11]. Αυτή η τεχνική έχει ως στόχο να μειώσει τις καθυστερήσεις στις ασύρματες μεταδόσεις, να βελτιώσει την ελαστικότητα χρησιμοποίησης του φάσματος και να μειώσει το κόστος για τους παρόχους και τους τελικούς χρήστες. Στην SFN τεχνολογία, οι σταθμοί βάσης μεταδίδουν το ίδιο σήμα την ίδια χρονική στιγμή πάνω από το ίδιο συχνοτικό κανάλι στους UEs.

Για την υποστήριξη της evolved MBMS υπηρεσίας στα LTE συστήματα, η 3GPP προτείνει τη χρήση της PTM μετάδοσης και της MBSFN [11]. Για τήρηση της ορθότητας στην παρούσα διπλωματική εργασία οι όροι e-MBMS και MBMS αναφέρονται στην ίδια υπηρεσία μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων.

Σε πραγματικές συνθήκες τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, σπάνια χρησιμοποιείται μόνον ένας τρόπος μετάδοσης καθ' όλη τη διάρκεια μιας συνόδου. Τις περισσότερες φορές αξιοποιείται μία ποικιλία μεθόδων μετάδοσης για τη διασφάλιση μιας αποδοτικής μετάδοσης. Η επιλογή της μεθόδου μετάδοσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η τοπολογία και το είδος των προς μετάδοση δεδομένων.

# 3

## *Σχετικές εργασίες*

Οι θεματικές περιοχές στις οποίες ανακαλύφθηκαν σχετικές εργασίες με την παρούσα διπλωματική εργασία βρίσκονται στο πεδίο των ασύρματων τηλεπικοινωνιών. Η αρχική έρευνα πάνω στις μεθόδους μετάδοσης σε πολυμέσα έγινε σε σταθερά δίκτυα. Πολύ γρήγορα όλη αυτή η έρευνα μεταφέρθηκε στα κινητά δίκτυα.

Μια θεματική περιοχή όπου εντοπίστηκαν σχετικές εργασίες είναι η περιοχή που εξετάζει τι, FEC τεχνικές διόρθωσης λαθών σε μετάδοση multicast δεδομένων. Η προτυποποίηση της MBMS υπηρεσίας από τη 3GPP πυροδότησε την έρευνα πάνω σε αυτό το πεδίο. Επίσης πολλοί επιστήμονες έχουν μελετήσει τη χρήση Raptor κωδίκων για τη διόρθωση λαθών σε μεταδιδόμενα πακέτα πάνω από κινητά δίκτυα. Παρόλο που αυτή η ερευνητική περιοχή είναι σχετικά νέα, έχουν προταθεί πολλές λύσεις μέχρι τώρα.

### *3.1 FEC μηχανισμοί για διόρθωση λαθών*

Στην εργασία [13], παρουσιάζεται μία εισαγωγή στη δομή των Raptor κωδίκων που χρησιμοποιούνται για διόρθωση λαθών. Οι κώδικες περιγράφονται με χρήση απλών γραμμικών αλγεβρικών συμβολισμών. Παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την πρακτική υλοποίηση πολλών κωδικοποιητών και αποκωδικοποιητών. Ταυτόχρονα επιβεβαιώνεται η σωστή χρήση τους σε broadcast μετάδοση. Τα πειραματικά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την αποδοτική εκτέλεση της όλης διαδικασίας.

Οι ίδιοι συγγραφείς στην ερευνητική εργασία [14] ερευνούν την διαδικασία μετάδοσης πληροφορίας κατά τη διαδικασία του download στην υπηρεσία MBMS των UMTS δικτύων. Διεξάγουν μία αναλυτική και κατανοητή έρευνα εφαρμόζοντας

στο σύστημα ένα σύνθετο μοντέλο καναλιού και κάνοντας εξομοιώσεις για να προκύψουν έγκυρα αποτελέσματα. Εξετάζεται η χρήση Turbo κωδίκων και ο συνδυασμός κόστους χρήσης τους και ποιότητας της διαδικασίας βελτίωσης λαθών. Το αποτέλεσμα των αποτελεσμάτων είναι ότι υπάρχει ένα κρίσιμο σημείο που εξισορροπεί το παραπάνω. Η βέλτιστη αυτή ποσότητα Turbo κωδίκων οδηγεί σε σχετικά μεγάλο ποσοστό χαμένων πακέτων κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

Η υιοθέτηση της τεχνικής FEC για διόρθωση λαθών σε μεταδιδόμενα πακέτα εξετάζεται από διαφορετική πλευρά στην ερευνητική εργασία [15]. Ένας πιθανός ανασχετικός παράγοντας που προκαλείται από το δίκτυο και πρέπει να ληφθεί υπόψη, είναι ποια είναι τα κατάλληλα λειτουργικά σημεία για να γίνεται οικονομία στους πόρους του δικτύου και να χρησιμοποιείται αποδοτικά το διαθέσιμο φάσμα. Τα πειράματα που διεξήχθησαν και τα διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν το όφελος που προσφέρουν οι Raptor κώδικες κατά τη χρήση τους στις FEC τεχνικές στην υπηρεσία MBMS. Με περισσότερη λεπτομέρεια, η αποδοτικότητα του συνολικού φάσματος βελτιώνεται σημαντικά και επιτυγχάνεται εξοικονόμηση των πόρων.

### **3.2 Διαδικασίες διόρθωσης λαθών**

Η μελέτη που δημοσιεύθηκε στην εργασία [6] εστιάζει στις διαδικασίες που γίνονται κατά τη διόρθωση λαθών σε μεταδιδόμενα πακέτα πάνω από ασύρματες διεπαφές. Ένα θέμα που συζητείται πολύ στη βιβλιογραφία είναι το να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της χρήσης κατάλληλης ποσότητας FEC κωδίκων έτσι ώστε να μη μεγαλώνει το κόστος και της επιτυχημένης διαδικασίας διόρθωσης λαθών. Οι συγγραφείς σε αυτή την εργασία προτείνουν έναν καινοτόμο τρόπο για διόρθωση λαθών που συνδυάζει PTM τρόπο διόρθωσης για μεταδιδόμενα πακέτα με μία Point-to-Point (PTP) διαδικασία. Ο κύριος στόχος είναι η βελτιστοποίηση της χρήσης των 3G πόρων ισορροπώντας την επιβάρυνση από τη χρήση FEC κωδίκων με την επιτυχημένη μετάδοση με τη χρήση της MBMS υπηρεσίας.

Επίσης στην ερευνητική εργασία [16] ερευνάται ο αντίκτυπος των διαδικασιών διόρθωσης λαθών που ενσωματώνουν τη χρήση FEC στο επίπεδο εφαρμογής ενός UMTS ασύρματου δικτύου. Γίνεται η εφαρμογή αυτών των τεχνικών για έλεγχο της ενέργειας και των πόρων που καταναλώνονται από το δίκτυο.

Οι μελέτες [17] και [18] παρουσιάζουν μία ανάλυση κόστους της υπηρεσίας MBMS που βασίζεται στο κόστος που αφορά τη μετάδοση πάνω από όλες τις διεπαφές και τους κόμβους της LTE αρχιτεκτονικής. Αυτή η ανάλυση έχει ως στόχο τον ορισμό της βέλτιστης MBSFN τοπολογίας, ενώ δεν λαμβάνει υπόψη κάποια διαδικασία για διόρθωση λαθών στα μεταδιδόμενα πακέτα. Μία ακόμη σχετική ανάλυση με τις διαδικασίες διόρθωσης λαθών που ερευνά την εκτέλεση ενός FEC μηχανισμού βρίσκεται στην εργασία [19]. Σε αυτή τη δουλειά μελετάται η απόδοση μόνο προτυποποιημένων από τη 3GPP μεθόδων. Λαμβάνεται υπόψη μόνο η χρήση MBSFN λειτουργίας και όχι PTM μετάδοσης για multicast δεδομένα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, περιλαμβάνεται μία επισκόπηση των διαφορετικών μεθόδων για διόρθωση λαθών στα κινητά δίκτυα, μια αναλυτική μελέτη κόστους για τη μετάδοση και διόρθωση λαθών κατά τη διάρκεια της MBMS υπηρεσίας (τόσο στην MBSFN όσο και στην PTM λειτουργία) σε LTE δίκτυα και μια πρόταση μιας νέας μεθόδου για την οποία τα πειράματα και οι εξομοιώσεις δείχνουν ότι συμπεριφέρεται πιο αποδοτικά σε σχέση με τις προϋπάρχουσες μελέτες.



# 4

## *Λειτουργίες και Αρχιτεκτονική της υπηρεσίας MBMS*

Το 3GPP [8] έχει ορίσει δύο λειτουργίες για την υπηρεσία MBMS: τη λειτουργία broadcast και τη λειτουργία multicast. Στις δύο επόμενες παραγράφους περιγράφεται κάθε μία από τις λειτουργίες αυτές. Για λόγους σαφήνειας τονίζεται ότι οι όροι e-MBMS και MBMS στην παρούσα εργασία αναφέρονται στην ίδια υπηρεσία για μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων.

### **4.1 Λειτουργία Broadcast**

Η λειτουργία broadcast είναι μία μονής κατεύθυνσης μετάδοση PTM. Η μετάδοση αυτή ξεκινά από ένα εξυπηρετητή και κατευθύνεται προς όλους τους χρήστες της περιοχής εξυπηρέτησης. Το περιεχόμενο της μετάδοσης είναι πολυμεσικά δεδομένα, δηλαδή κείμενο, εικόνα, ήχος και video. Ο σκοπός της συγκεκριμένης λειτουργίας είναι η αποδοτική χρήση των ασύρματων πόρων και γενικότερα των πόρων του δικτύου.

Για το λόγο αυτό, η μετάδοση των δεδομένων γίνεται μέσω ενός κοινού ασύρματου καναλιού. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της λειτουργίας broadcast είναι ότι εμφανίζει κάποια χαρακτηριστικά προσαρμοστικότητας. Για την ακρίβεια, το δίκτυο έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει το ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με τη διαθεσιμότητα ασύρματων πόρων.

Ένα παράδειγμα υπηρεσίας που μπορεί να χρησιμοποιήσει τη λειτουργία broadcast είναι οι διαφημίσεις ή ένα μήνυμα καλωσορίσματος στο δίκτυο. Όλοι οι χρήστες του δικτύου θα μπορούν να λαμβάνουν χωρίς χρέωση τέτοιου είδους μηνύματα. Όμως, επειδή είναι πιθανό να υπάρχουν χρήστες του δικτύου που δεν επιθυμούν τη λήψη σχετικών μηνυμάτων, θα υπάρχει η δυνατότητα για ενεργοποίηση και απενεργοποίηση αυτή της υπηρεσίας broadcast. Κατά συνέπεια, ένα σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι, για τη λειτουργία broadcast του MBMS, δεν απαιτείται συνδρομή στην υπηρεσία. Αντίθετα, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο, αυτή η διαδικασία απαιτείται για τη λειτουργία multicast [12], [20].

## ***4.2 Λειτουργία Multicast***

Η λειτουργία multicast είναι μία μονής κατεύθυνσης PTM μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων. Η μετάδοση αυτή ξεκινά από ένα εξυπηρετητή και κατευθύνεται προς μία multicast ομάδα μίας περιοχής εξυπηρέτησης.

Όπως και στη λειτουργία broadcast, στόχος της λειτουργίας multicast είναι η αποδοτική χρήση των πόρων του δικτύου. Επίσης, η συγκεκριμένη λειτουργία παρουσιάζει προσαρμοστικότητα μεταβάλλοντας το ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με τη διαθεσιμότητα ασύρματων πόρων στο UTRAN. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της λειτουργίας multicast είναι η δυνατότητα που δίνεται στο δίκτυο να επιλέγει συγκεκριμένες κυψέλες στις οποίες θα μεταδοθεί η πληροφορία. Φυσικά, η πληροφορία θα απευθύνεται στους χρήστες που βρίσκονται στην κυψέλη και οι οποίοι ανήκουν σε μια multicast ομάδα.

Αντίθετα με τη λειτουργία broadcast, η λειτουργία multicast απαιτεί μία διαδικασία εγγραφής (Subscription) στη multicast ομάδα. Στη συνέχεια, ο χρήστης μπορεί να συμμετάσχει (Joining) στη συγκεκριμένη ομάδα. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, αντίθετα με τις υπηρεσίες broadcast, στο μεγαλύτερο ποσοστό των υπηρεσιών multicast, αναμένεται να περιλαμβάνεται χρέωση για το χρήστη [12], [20].

## ***4.3 Αρχιτεκτονική της Υπηρεσίας MBMS***

Η δομή του δικτύου LTE για την υπηρεσία evolved-MBMS, απεικονίζεται στην Εικόνα 3 Το δίκτυο πρόσβασης (access network) ή αλλιώς evolved Universal

Terrestrial Radio Access Network (e-UTRAN) είναι υπεύθυνο για όλες τις ασύρματες λειτουργίες ενός LTE δικτύου.

Το δίκτυο αυτό είναι υπεύθυνο για την παράδοση των multicast δεδομένων στους χρήστες που ανήκουν στη αντίστοιχη multicast ομάδα. Επειδή οι multicast μεταδόσεις μπορούν να ξεκινούν και να τερματίζονται διαρκώς, το δίκτυο e-UTRAN είναι σε θέση να εξυπηρετεί την εκκίνηση και τον τερματισμό τέτοιου είδους μεταδόσεων. Επιπλέον, το e-UTRAN θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να διανέμει σε πολλαπλούς χρήστες multicast δεδομένα που εισέρχονται μόνο μία φορά σε αυτό. Ταυτόχρονα, οι απώλειες πληροφορίας σε περιπτώσεις κινητικότητας των χρηστών και αλλαγής του σημείου πρόσβασης στο e-UTRAN, θα πρέπει να είναι περιορισμένες.

Οι σταθμοί βάσης - Node Bs (NBs) συλλέγουν την πληροφορία που πρέπει να μεταδοθεί προς τους κινητούς χρήστες. Όλες οι νέες λειτουργίες που προσφέρει η υπηρεσία MBMS προσφέρονται από τον κόμβο evolved - Broadcast / Multicast Service Center (e-BM-SC). Στο υπόλοιπο της παραγράφου, θα περιγραφούν αναλυτικά οι λειτουργίες του κάθε κόμβου που συμμετέχει στην παροχή της υπηρεσίας MBMS.

Ο κόμβος e-BM-SC είναι υπεύθυνος για την παροχή της υπηρεσίας MBMS. Πρόκειται για μία λειτουργική οντότητα που πρέπει να υπάρχει για κάθε υπηρεσία MBMS. Ουσιαστικά, είναι το σημείο εισόδου των μεταδόσεων στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Κατά συνέπεια, σε αυτόν τον κόμβο πέφτει το βάρος της εγκατάστασης και του χρονοπρογραμματισμού των απαραίτητων συνδέσεων, προκειμένου να γίνει σωστή παράδοση του περιεχομένου των MBMS μεταδόσεων.

Αυτό σημαίνει ότι ο κόμβος αυτός αναλαμβάνει να δεσμεύσει τους απαραίτητους πόρους λίγο πριν την εκκίνηση των συνόδων και να τους αποδεσμεύσει αφού οι σύνοδοι τερματιστούν. Μία άλλη λειτουργία του κόμβου αυτού είναι ο έλεγχος και η ταυτοποίηση εξωτερικών παρόχων, προκειμένου να τους επιτραπεί η multicast μετάδοση δεδομένων εντός του LTE δικτύου. Ταυτόχρονα, ο κόμβος e-BM-SC εξασφαλίζει την ακεραιότητα των μεταδιδόμενων δεδομένων και καταγράφει τις μεταδόσεις των παρόχων καθώς και άλλες χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις χρεώσεις.

Πρακτικά μπορεί να θεωρηθεί ως μια λειτουργική διασύνδεση μεταξύ των υπηρεσιών διανομής περιεχομένου και των υπηρεσιών που προσφέρονται από το

MBMS ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Είναι η οντότητα που έχει αναλάβει την εισαγωγή πολυμεσικού περιεχομένου στα δίκτυα 4G.

Για το σκοπό αυτό, το e-BM-SC χρησιμεύει ως σημείο εισόδου για τους παρόχους περιεχομένου ή σε οποιαδήποτε άλλη broadcast / multicast πηγή, η οποία είναι ξένη προς το δίκτυο. Προς την κατεύθυνση του δικτύου πυρήνα, το e-BM-SC ελέγχει το εγκαθίδρυση και την απελευθέρωση των φορέων της MBMS υπηρεσίας και τον προγραμματισμό των μεταδόσεων.

Η οντότητα Multicell / Multicast Coordination (MCE) συντονίζει τη μετάδοση των συγχρονισμένων σημάτων από διαφορετικά κελιά (e-NBs). Ειδικότερα στην PTM μετάδοση, ο κόμβος MCE ευθύνεται για την κατανομή των ίδιων πόρων και μπορεί να είναι μέρος ενός e-NB στην περίπτωση επίπεδης αρχιτεκτονικής. Στην MBSFN μετάδοση ο κόμβος MCE χρησιμοποιείται από όλους τους σταθμούς βάσης (e-NBs) στην αντίστοιχη MBSFN περιοχή όπου μεταδίδονται ταυτόχρονα δεδομένα σε πολλά κελιά. Εκτός από τα παραπάνω ο κόμβος MCE είναι υπεύθυνος για την επιλογή του σχήματος κωδικοποίησης και διαμόρφωσης.

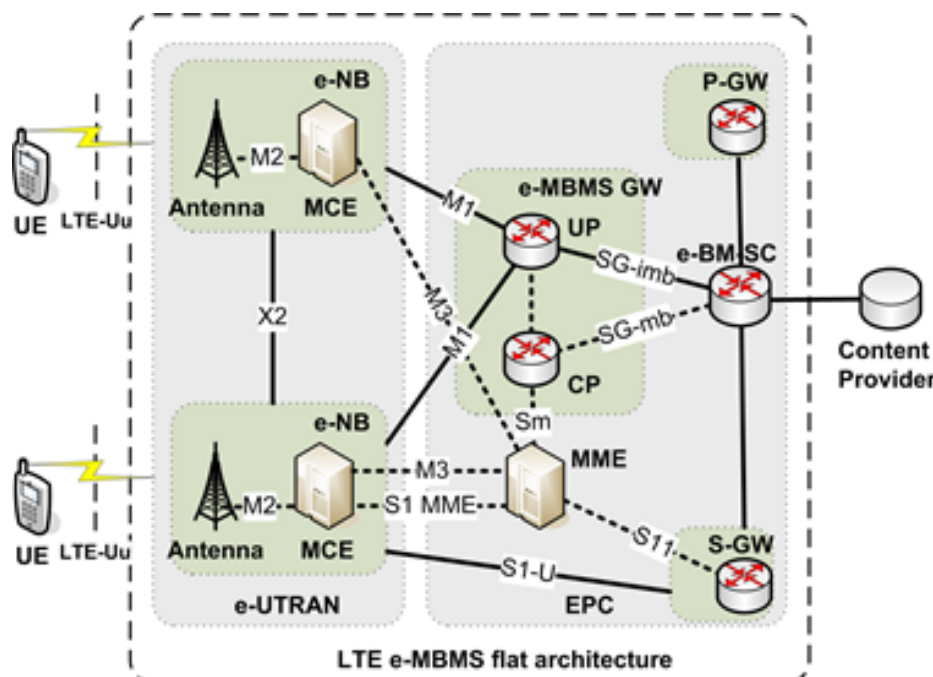
Ο κόμβος e-MBMS Gateway (e-MBMS GW) βρίσκεται ανάμεσα στον κόμβο e-BM-SC και στους σταθμούς βάσης. Κύρια λειτουργία του είναι να προωθεί τα MBMS πακέτα σε κάθε e-NB που μεταδίδει την πληροφορία. Επιπλέον, ο κόμβος e-MBMS GW τη Σύνοδο Ελέγχου Σηματοδοσίας (Εναρξη/Τερματισμός Συνόδου) προς το δίκτυο πρόσβασης (e-UTRAN) μέσω της οντότητας Mobility Management Entity (MME).

Ο κόμβος e-MBMS GW χωρίζεται λογικά σε δύο τομείς. Ο πρώτος σχετίζεται με το επίπεδο ελέγχου ενώ ο δεύτερος με το επίπεδο χρήστη. Γι' αυτό το λόγο δύο ξεχωριστές διεπαφές έχουν οριστεί μεταξύ του κόμβου e-MBMS GW και του δικτύου πρόσβασης, που ονομάζονται M1 για το επίπεδο που αφορά τις λειτουργίες του χρήστη και M3 για το επίπεδο που αφορά τις λειτουργίες ελέγχου. Η διεπαφή M1 χρησιμοποιεί το IP multicast πρωτόκολλο για μετάδοση των πακέτων στους e-NBs. Η M3 διεπαφή υποστηρίζει την σύνοδο ελέγχου σηματοδοσίας της υπηρεσίας MBMS που αφορά την έναρξη και τον τερματισμό μίας συνόδου [11], [21].

Στην ασύρματη διεπαφή (LTE-Uu), η υπηρεσία MBMS χρησιμοποιεί δύο λογικά κανάλια (στον κατερχόμενο σύνδεσμο – downlink) που ονομάζονται Multicast Traffic Channel (MTCH) και Multicast Control Channel (MCCH). Το MTCH είναι

ένα κανάλι PTM για μετάδοση της κίνησης δεδομένων στους χρήστες που περιμένουν την υπηρεσία και ενεργοποιεί τη μετάδοση δεδομένων μέσω PTM.

Από την άλλη πλευρά, το MCCH είναι ένα PTM κανάλι που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών ελέγχου της MBMS υπηρεσίας από το δίκτυο στους χρήστες και σχετίζεται με ένα ή περισσότερα MTCH. Αυτά τα δύο κανάλια χρησιμοποιούνται μόνο από τους χρήστες που λαμβάνουν την MBMS κίνηση. Επιπλέον και τα δύο αντιστοιχούν στο Multicast Channel (MCH) το οποίο είναι ένα κανάλι μετάδοσης στο Medium Access Control (MAC) επίπεδο. Είναι ένα broadcast κανάλι που υποστηρίζει εν μέρει στατική κατανομή πόρων με ένα χρονικό πλαίσιο με ένα χρονικό πλαίσιο που αναφέρεται ως κυκλικό πρόθεμα - Cyclic Prefix (CP). Το MCH αντιστοιχίζεται στο Physical Multicast κανάλι του φυσικού επιπέδου [11], [22].



Εικόνα 3. Η αρχιτεκτονική της υπηρεσίας MBMS.

Όσον αφορά τον εξοπλισμό του χρήστη (UE), αυτός υποστηρίζει λειτουργίες για την ενεργοποίηση / απενεργοποίηση των MBMS υπηρεσιών. Από τη στιγμή που κάποια υπηρεσία ενεργοποιείται, δε χρειάζεται επιπλέον αίτηση του χρήστη προκειμένου να ξεκινήσει να λαμβάνει τα δεδομένα της υπηρεσίας. Παρόλα αυτά, ο χρήστης ειδοποιείται όταν επίκειται λήψη δεδομένων που σχετίζονται με την υπηρεσία MBMS.

Επιπλέον, ο UE παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη, ταυτόχρονα με την υπηρεσία MBMS, να μπορεί να εκτελεί και άλλες υπηρεσίες όπως πραγματοποίηση κλήσεων, αποστολή και λήψη μηνυμάτων κ.α. Μία άλλη σημαντική λειτουργία του UE είναι η αναγνώριση των συνόδων. Με τον όρο αναγνώριση των συνόδων, εννοούμε τη δυνατότητα του εξοπλισμού του χρήστη να αναγνωρίζει μία επικείμενη MBMS μετάδοση και αν χρειάζεται, να την απορρίπτει.

Υπάρχουν διάφοροι πιθανοί λόγοι για τους οποίους ένας κινητός εξοπλισμός UE μπορεί να απορρίψει μία μετάδοση. Ο πιο πιθανός από αυτούς τους λόγους, είναι αυτή η μετάδοση να έχει ήδη παραληφθεί από το συγκεκριμένο UE. Τέλος, μέσα στις αρμοδιότητες του UE είναι και η εκτέλεση λειτουργιών ασφάλειας που είναι ειδικά σχεδιασμένες για multicast υπηρεσίες.

# 5

## *Επισκόπηση των FEC τεχνικών στην Υπηρεσία MBMS*

### *5.1 FEC Τεχνικές στο Επίπεδο Εφαρμογής*

Οι συστηματικοί Raptor κώδικες που αναπτύχθηκαν από τη Digital Fountain έχουν επιλεγεί για τη διόρθωση σφαλμάτων στην MBMS υπηρεσία [23]. Οι κώδικες Raptor ανήκουν στην κλάση των κωδικών με την ιδιότητα του «σιντριβανιού» (fountain codes). Αυτό μπορεί να δημιουργήσει έναν αυθαίρετο αριθμό εφεδρικών συμβόλων FEC από μία πηγή. Οι Raptor κώδικες παράγουν όσα σύμβολα κωδικοποίησης όσα απαιτούνται για τη διαδικασία επιδιόρθωσης του αρχείου. Χρησιμοποιώντας τους αλόγιστα, μπορεί να προστεθεί τεράστιο κόστος μετάδοσης κατά τη διάρκεια μιας περιόδου λειτουργίας.

Ωστόσο, στα πρωτόκολλα πολλαπλής διανομής (multicast protocols) η χρήση τους έχει πραγματικά ισχυρά κίνητρα. Αυτό συμβαίνει γιατί συνδυάζονται με τις ιδιότητες των πρωτοκόλλων πολλαπλής μετάδοσης και επιτυγχάνουν βελτιώσεις όπως η εξάλειψη του αποτελέσματος των ανεξάρτητων απωλειών σε διαφορετικούς δέκτες.

Αυτές οι ιδιότητες κάνουν αυτά τα σχήματα διόρθωσης λαθών, ικανά να λειτουργήσουν σε οποιοδήποτε δέκτη ανεξάρτητα της απώλειας που υφίσταται το πακέτο που αυτός λαμβάνει. Επιπλέον, η δραματική μείωση του συντελεστή

απώλειας πακέτων σε μεγάλο βαθμό μειώνει την ανάγκη για να σταλούν ενημέρωση πίσω στον αποστολέα.

Αυτά τα χαρακτηριστικά των Raptor κωδίκων ταιριάζουν ακριβώς με τις ανάγκες για διόρθωση ενός αρχείου. Η μετάδοση ενός νέου δημιουργημένου FEC πακέτου ωφελεί όλους τους δέκτες που δεν έχουν αναδημιουργήσει το αρχικό πακέτο που στάλθηκε από τον αποστολέα. Ο κωδικοποιητής Raptor κωδίκων μπορεί να δημιουργήσει όσα σύμβολα απαιτούνται για την πλήρη διόρθωση ενός μεταδιδόμενου πακέτου [24]. Οι raptor κώδικες υποδιαιρούν ένα αρχείο σε μικρότερα blocks δεδομένων και τα FEC σύμβολα απευθύνονται για τη διόρθωση λαθών σε κάθε block.

Η επιβάρυνση από τη χρήση FEC κωδίκων (δηλαδή η χρήση πλεοναζόντων συμβόλων), είναι η πιο σημαντική παράμετρος που θα πρέπει να ελέγχεται. Αυτή η παράμετρος επηρεάζει κατά πολύ το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος για τη διόρθωση λαθών.

Από τη μία πλευρά, υπάρχει η περίπτωση να υπάρχει πολύ μικρή επιβάρυνση που όμως να οδηγεί σε χαμηλής ποιότητας διόρθωση λαθών στα μεταδιδόμενα πακέτα. Από την άλλη πλευρά μία επιτυχής διόρθωση λαθών στην πλειονότητα των χρηστών που λαμβάνουν κάποιο πακέτο, μπορεί να συνοδεύεται από πολύ υψηλό τηλεπικοινωνιακό κόστος και μεγάλη κατανάλωση πόρων του συστήματος.

## **5.2 Διαδικασία Διόρθωσης Λαθών**

Ο σκοπός της διαδικασίας διόρθωσης λαθών είναι να διορθώσει χαμένα ή κατεστραμμένα τμήματα κάποιου αρχείου που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του download της MBMS υπηρεσίας [24]. Στο τέλος της μετάδοσης MBMS δεδομένων κάθε χρήστης εντοπίζει τα τμήματα του εκάστοτε αρχείου και στέλνει ένα μήνυμα αίτησης για επιδιόρθωση αρχείου στο διακομιστή (server) επιδιόρθωσης του αρχείου.

Αυτό το μήνυμα προσδιορίζει ποια ακριβώς είναι τα δεδομένα που λείπουν. Στη συνέχεια, διακομιστή (server) επιδιόρθωσης του αρχείου ανταποκρίνεται με ένα μήνυμα απόκρισης επισκευής. Το μήνυμα απόκρισης επιδιόρθωσης ενδέχεται να περιέχει τα δεδομένα που ζητήθηκαν, να ανακατευθύνει τον υπολογιστή-πελάτη σε μία σύνοδο MBMS υπηρεσίας ή σε άλλο διακομιστή ή εναλλακτικά, να περιγράψει μια περίπτωση σφάλματος.



Η διαδικασία αυτή έχει πολλά σημαντικά μειονεκτήματα. Ένα από τα κύρια προβλήματα που θα πρέπει να αποφευχθούν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επιδιόρθωσης του αρχείου είναι η κατάρρευση του server επισκευής που μπορεί να οφείλεται σε δυνητικά μεγάλο αριθμό των MBMS χρηστών που ζητούν ταυτόχρονη επισκευή σε τμήματα αρχείων.

Ένα άλλο πιθανό πρόβλημα είναι ότι μπορεί να συμβεί συμφόρηση στο download κανάλι δικτύου λόγω της ταυτόχρονης διαβίβασης των δεδομένων επισκευής προς πολλά προγράμματα-πελάτες που χρησιμοποιούν MBMS υπηρεσία. Τέλος η υπερφόρτωση του server για επιδιόρθωση λαθών από εισερχόμενη / εξερχόμενη κίνηση, πρέπει να αποφεύγεται.

Το κυριότερο για την προστασία των πόρων του δικτύου είναι ο διαμοιρασμός του συνολικού φορτίου προς επιδιόρθωση στο χρόνο και σε πολλαπλό αριθμό χρηστών. Η προκύπτουσα τυχαία κατανομή της εξυπηρέτησης των μηνυμάτων στο χρόνο βελτιώνει τη δυνατότητα κλιμάκωσης του δικτύου.

# 6

## *Ανάλυση Κόστους για την Υπηρεσία MBMS*

Σε αυτήν την ενότητα, παρουσιάζεται μια ανάλυση κόστους για τους τρόπους μετάδοσης PTM και MBSFN. Η αξιολόγηση της επίδοσης του κάθε τρόπου μετάδοσης και η βέλτιστη επιλογή της ρύθμισης των παραμέτρων του συστήματος βασίζεται σε αυτή την ανάλυση κόστους. Πρέπει να σημειωθεί ότι, σε ότι αφορά την ανάλυση του κόστους, διαχωρίζονται τα κόστη για τη μετάδοση PTM και MBSFN.

Ανεξάρτητα από τα άλλα τμήματα του συνολικού κόστους για μετάδοση δεδομένων σε ένα LTE δίκτυο, για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει ένας ενδιαφερόμενος χρήστης για την υπηρεσία, υποθέτουμε ότι διεξάγεται μια διαδικασία polling. Δηλαδή μία διαδικασία που γίνεται για να ελεγχθεί το πλήθος των χρηστών που ενδιαφέρονται για την υπηρεσία σε μία συγκεκριμένη τοπολογία.

Το συνολικό κόστος μετάδοσης για τον PTM τρόπο μετάδοσης περιλαμβάνει το κόστος πάνω από την ασύρματη διεπαφή του δικτύου και το κόστος που αφορά τους κόμβους του δικτύου. Σε ότι αφορά την περίπτωση του MBSFN τρόπου μετάδοσης, το συνολικό κόστος περικλείει τα δύο είδη κόστους που περιγράφηκαν πιο πάνω και επιπλέον το κόστος για τη διαδικασία του polling.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία στη μέτρηση κόστους συμπεριλαμβάνεται τόσο το κόστος για τη μετάδοση δεδομένων όσο και αυτό που απαιτείται για μεταδόσεις σημάτων ελέγχου για την όλη διαδικασία [25].

Σε αυτή την ενότητα γίνεται μία ανάλυση κόστους που λαμβάνεται υπόψη στο συνολικό υπολογισμό όλες τις επιμέρους συνιστώσες που χρειάζονται για μία πλήρη

τηλεπικοινωνιακή σύνοδο. Η ανάλυση γίνεται σύμφωνα με την αρχιτεκτονική της υπηρεσίας MBMS που προηγήθηκε στην ενότητα 4.3. Στη ανάλυση χρησιμοποιούνται οι συμβολισμοί που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ**

| Συντομογραφία       | Επεξήγηση  |
|---------------------|--|
| $D_{Uu\_PTM}$       | Κόστος μετάδοσης ενός πακέτου ασύρματα για την PTM μετάδοση        |
| $D_{Uu\_MBSFN}$     | Κόστος μετάδοσης ενός πακέτου ασύρματα για την MBSFN μετάδοση      |
| $D_{p\_eNB\_PTM}$   | Κόστος για το polling σε κάθε e-NB για την PTM μετάδοση            |
| $D_{p\_eNB\_MBSFN}$ | Κόστος για το polling σε κάθε e-NB για την MBSFN μετάδοση          |
| $C_{Uu\_PTM}$       | Συνολικό κόστος μετάδοσης στη Uu διεπαφή την PTM μετάδοση          |
| $C_{Uu\_MBSFN}$     | Συνολικό κόστος μετάδοσης στη Uu διεπαφή την MBSFN μετάδοση        |
| $C_{M1\_PTM}$       | Συνολικό κόστος μετάδοσης στη M1 διεπαφή την PTM μετάδοση          |
| $C_{M1\_MBSFN}$     | Συνολικό κόστος μετάδοσης στη M1 διεπαφή την MBSFN μετάδοση        |
| $N_{eNB\_PTM}$      | Αριθμός συμμετεχόντων e-NBs στην PTM μετάδοση(κελιά με χρήστες)    |
| $N_{eNB\_MBSFN}$    | Αριθμός συμμετεχόντων e-NBs στην MBSFN μετάδοση                    |
| $N_{cell\_PTM}$     | Συνολικός αριθμός e-NBs στην τοπολογία για PTM                     |
| $N_{cell\_MBSFN}$   | Συνολικός αριθμός e-NBs στην τοπολογία για MBSFN                   |
| $D_{M1}$            | Κόστος μετάδοσης ενός πακέτου στη M1 διεπαφή                       |
| $D_{M2}$            | Κόστος μετάδοσης ενός πακέτου στη M2 διεπαφή                       |
| $N_p$               | Συνολικός αριθμός πακέτων για την MBSFN σύνοδο                     |
| $N_{p\_burst}$      | Μέσος αριθμός πακέτων σε κάθε εκπομπή πακέτων                      |
| $C_{polling}$       | Συνολικό κόστος για την polling διαδικασία                         |
| $C_{polling\_air}$  | Συνολικό κόστος για την polling διαδικασία στην Uu διεπαφή (αέρας) |
| $C_{polling\_core}$ | Συνολικό κόστος για την polling διαδικασία στους κόμβους (υλικό)   |
| $C_{SYNC}$          | Συνολικό κόστος για τη διαδικασία συγχρονισμού                     |
| $C_{PTM}$           | Συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος για την PTM μετάδοση              |
| $C_{MBSFN}$         | Συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος για την MBSFN μετάδοση            |
| $C_{TOTAL}$         | Συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος για μία ολοκληρωμένη σύνοδο       |

## **6.1 Πιθανές Τοπολογίες Δικτύου και**

### **Τρόποι Μετάδοσης Δεδομένων**

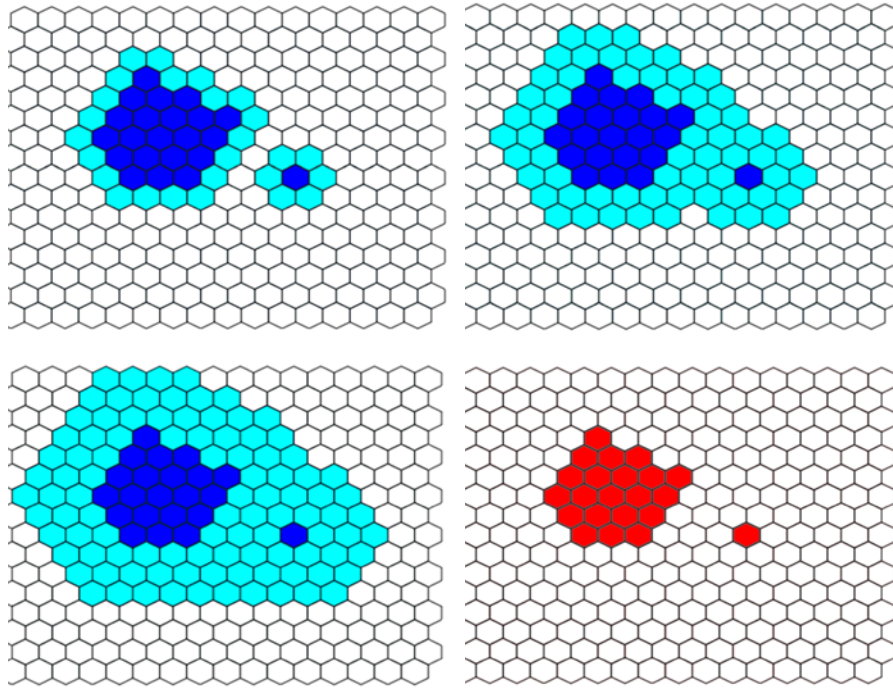
Στην Εικόνα 4, η κεντρική μπλε σκούρα περιοχή αποτελείται από κελιά που περιέχουν χρήστες που περιμένουν να εξυπηρετηθούν. Με τον όρο «βοηθητικά» κελιά, αναφερόμαστε στα κελιά που περιβάλλουν τα κεντρικά κελιά (αυτά με το μπλε σκούρο χρωματισμό). Τα βοηθητικά κελιά συμβάλουν στην MBMS υπηρεσία μεταδίδοντας τα ίδια MBSFN δεδομένα έτσι ώστε να ληφθούν από τους χρήστες με αποτελεσματικό τρόπο [26], [27].

Στην Εικόνα 4, τα βοηθητικά κελιά, σχηματίζουν βοηθητικούς δακτυλίους που χρωματίζονται με γαλάζιο χρώμα. Στην περίπτωση που ένα κελί περιέχει χρήστες που έχουν εγγραφεί στην multicast υπηρεσία αλλά δεν ανήκουν στην MBSFN περιοχή, χρησιμοποιείται η μέθοδος PTM μετάδοσης για την εξυπηρέτησή τους.

Ως εκ τούτου, στην Εικόνα 4, ο χρωματισμός των κελιών με μπλε σκούρο υποδηλώνει ότι αυτά τα κελιά περιέχουν χρήστες που λαμβάνουν την υπηρεσία μέσω MBSFN τρόπου μετάδοσης, ενώ ο χρωματισμός των κελιών με κόκκινο χρώμα υποδηλώνει ότι οι χρήστες λαμβάνουν την MBMS υπηρεσία μέσω PTM τρόπου μετάδοσης. Αυτή η σύμβαση χρησιμοποιείται σε όλη την παρούσα διπλωματική εργασία.

Ο λόγος της χρήσης των βοηθητικών κελιών στα κελιά που εκπέμπουν με MBSFN τρόπο μετάδοσης, είναι ότι αυξάνεται η απόδοση αυτού του τρόπου, μιας και τα βοηθητικά κελιά μεταδίδουν τα ίδια MBSFN δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις εργασίες [26] και [27], η παρουσία ενός βοηθητικού δακτυλίου μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη συνολική αποδοτικότητα του φάσματος αλλά παράλληλα να αυξήσει και το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος.

Παράλληλα, γίνεται η υπόθεση ότι εκτός των κεντρικών κελιών που περιέχουν χρήστες (μπλε σκούρα περιοχή), μπορούν να προστεθούν το μέγιστο τρεις δακτύλιοι με βοηθητικά κελιά που θα εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα και θα μεταδίδουν τα ίδια MBSFN δεδομένα με αυτά που μεταδίδονται στην κεντρική περιοχή. Αυτή η σύμβαση γίνεται μιας και η χρήση περισσότερων δακτυλίων με βοηθητικά κελιά δεν ωφελεί αλλά επιβαρύνει το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος [26], [27].



**Εικόνα 4. Διαφορετικές διαμορφώσεις της τοπολογίας του δικτύου για μία δοσμένη κατανομή χρηστών.**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα οριστούν οι παρακάτω διαμορφώσεις για την τοπολογία ενός LTE δικτύου οι οποίες έχουν αναλυθεί και μελετηθεί στην ερευνητική εργασία [28]:

- MBSFN περιοχή με AII διαμόρφωση (με έναν βοηθητικό δακτύλιο και δύο παρεμβαλλόμενους),
- MBSFN περιοχή με AAI διαμόρφωση (με δύο βοηθητικούς δακτυλίους και έναν παρεμβαλλόμενο),
- MBSFN περιοχή με AAA διαμόρφωση (με τρεις βοηθητικούς δακτυλίους),
- PTM περιοχή (χωρίς καθόλου χρήση MBSFN μετάδοση).

Στην Εικόνα 4, παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα διαφορετικών διαμορφώσεων της τοπολογίας του δικτύου για μια συγκεκριμένη κατανομή χρηστών. Γίνεται η υπόθεση ότι τα κελιά μπορούν να εξυπηρετηθούν τόσο από MBSFN τρόπο μετάδοσης όσο και από PTM.

## 6.2 Κόστος για την Polling Διαδικασία

Προκειμένου να εξεταστεί ποια κελιά περιέχουν χρήστες που ενδιαφέρονται να λάβουν την MBMS υπηρεσία, γίνεται η υπόθεση ότι γίνεται μια διερευνητική διαδικασία που ονομάζεται polling. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι διαφοροποιείται το κόστος για την διαδικασία του MBMS polling από το κόστος για τη μετάδοση πακέτου.

Σε αντίθεση με τη διαδικασία καταμέτρησης (counting) που χρησιμοποιείται για την παροχή MBMS υπηρεσίας σε UMTS συστήματα μετάδοσης (όπου καθορίζεται ο ακριβής αριθμός χρηστών), η διαδικασία polling προσδιορίζει εάν το κελί περιέχει τουλάχιστον ένα χρήστη που ενδιαφέρεται για τη δεδομένη υπηρεσία. Το κόστος της polling διαδικασίας είναι ανεξάρτητο και σταθερό σε σχέση με τα άλλα μέρη του συνολικού τηλεπικοινωνιακού κόστους. Επιπλέον, αυτό το κόστος είναι κατά πολύ μικρότερο σε σχέση με τα άλλα μέρη του συνολικού κόστους.

Οι κόμβοι e-NB λαμβάνουν την απόκριση των UEs σε μορφή ακολουθίας. Αυτή η πληροφορία (πακέτο) στέλνεται στον κόμβο MCE, που κάνει την εκτίμηση για το ποια κελιά περιέχουν χρήστες που να ενδιαφέρονται για την MBMS υπηρεσία [29].

$$\begin{aligned}
 C_{Polling} &= C_{Polling\_air} + C_{Polling\_core} = \\
 &D_{p\_eNB\_PTM} \cdot N_{cell\_PTM} + D_{p\_eNB\_PTM} \cdot N_{cell\_MBSFN} + \\
 &D_{M2} \cdot (N_{eNB\_PTM} + N_{eNB\_MBSFN})
 \end{aligned} \tag{1}$$

Το συνολικό κόστος που αφορά τη διαδικασία polling, φαίνεται στην εξίσωση (1). Αναλυτικά, οι όροι  $N_{cell\_PTM}$  και  $N_{cell\_MBSFN}$  είναι οι αριθμοί των κόμβων e-NBs στην τοπολογία για τα σχήματα μετάδοσης PTM και MBSFN (μιας και όλοι οι e-NBs στέλνουν ένα μήνυμα απόκρισης σε κάποιον UE), ο όρος  $N_{eNB\_MBSFN}$  αντιπροσωπεύει τον αριθμό των e-NBs που συμμετέχουν στην MBSFN μετάδοση και ο όρος  $N_{eNB\_PTM}$  αυτούς που συμμετέχουν στην PTM μετάδοση. Επίσης οι όροι  $D_{p\_eNB\_PTM}$  και  $D_{p\_eNB\_MBSFN}$  αναπαριστούν το κόστος για την polling διαδικασία σε κάθε e-NB (ίσο με  $D_{Uu\_PTM}$  and  $D_{Uu\_MBSFN}$  αντίστοιχα) και ο όρος  $D_{M2}$  είναι το κόστος ενός πακέτου για τη διεπαφή M2 (βλ. Εικόνα 3).

### 6.3 Κόστος στην Ασύρματη Διεπαφή του Δικτύου

Το κόστος μετάδοσης πάνω από την ασύρματη διεπαφή του δικτύου ορίζεται για διαφορετικές τοπολογίες δικτύου και κατανομές χρηστών. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3, η ασύρματη διεπαφή είναι η διεπαφή  $Uu$  που συνδέει τον UE (χρήστη) και το σταθμό βάσης.

Για να εκτιμηθεί το τηλεπικοινωνιακό κόστος στην ασύρματη διεπαφή, ορίζεται ο όρος του ποσοστού απόδοσης πόρων (*RE\_percentage – resource efficiency percentage*). Αυτός ο όρος είναι το κλάσμα της τρέχουσας απόδοσης των πόρων του δικτύου που επιτυγχάνεται για δοσμένη κατανομή χρηστών και υποδεικνύει την ποιότητα της απόδοσης πόρων που πετυχαίνεται για συγκεκριμένη διαμόρφωση του δικτύου [28].

Στη συνέχεια ορίζεται το κόστος για την παράδοση ενός πακέτου από την ασύρματη διεπαφή ( $D_{Uu}$ ) ως το αντίστροφο του *RE\_percentage*. Αυτό σημαίνει ότι όσο η απόδοση των πόρων ενός κελιού αυξάνεται, ταυτόχρονα αυξάνεται και το *RE\_percentage*. Κατά συνέπεια, το συνολικό κόστος για την παράδοση του πακέτου στον προορισμό του μειώνεται. Στην ερευνητική εργασία [28] η μέγιστη απόδοση πόρων που επιτυγχάνεται είναι 2.4 bps / Hz (άπειρη τοπολογία με MBSFN περιοχή με AAA διαμόρφωση). Σύμφωνα με αυτό, ορίζεται το κόστος για την μετάδοση ενός πακέτου από την ασύρματη διεπαφή ( $D_{Uu}$ ) ως εξής:

$$D_{Uu} = \frac{1}{RE\_percentage} = \frac{\max\_resource\_efficiency}{current\_resource\_efficiency} \quad (2)$$

Τέλος το συνολικό κόστος για τη μετάδοση των πακέτων δεδομένων από την  $Uu$  διεπαφή προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση:

$$C_{Uu} = C_{Uu\_PTM} + C_{Uu\_MBSFN} \quad (3)$$

Ο παραπάνω ορισμός περιλαμβάνει τα κόστη τόσο για το PTM όσο και για το MBSFN σχήμα μετάδοσης. Για να γίνει αυτό σαφές, δίνεται η εξίσωση (4) για το PTM σχήμα μετάδοσης:

$$C_{Uu\_PTM} = D_{Uu\_PTM} \cdot N_p \cdot N_{eNB\_PTM} \quad (4)$$

Ο όρος  $N_{eNB\_PTM}$  αντιπροσωπεύει τον αριθμό των e-NBs που συμμετέχουν στην PTM μετάδοση, ο όρος  $N_p$  το συνολικό αριθμό πακέτων της συνόδου και ο όρος  $D_{Uu\_PTM}$  είναι το κόστος μετάδοσης ενός πακέτου στην ασύρματη διεπαφή.

Όμοια, στην εξίσωση (5) ορίζονται οι αντίστοιχοι όροι για το σχήμα μετάδοσης MBSFN.

$$C_{Uu\_MBSFN} = D_{Uu\_MBSFN} \cdot N_p \cdot N_{eNB\_MBSFN} \quad (5)$$

#### 6.4 Κόστος στους Υλικούς Κόμβους του Δικτύου

Το κόστος πάνω από τη M1 διεπαφή ονομάζεται τηλεπικοινωνιακό κόστος στους υλικούς κόμβους του δικτύου. Η M1 διεπαφή χρησιμοποιεί το IP πρωτόκολλο πολλαπλής διανομής για την παράδοση των πακέτων στους σταθμούς βάσης.

Το συνολικό κόστος για τη μετάδοση πακέτων δεδομένων πάνω από την M1 διεπαφή για τα σχήματα μετάδοσης PTM και MBSFN προέρχεται από τις εξισώσεις (6) και (7). Ο όρος  $D_{M1}$  είναι το κόστος μετάδοσης ενός πακέτου πάνω από την M1 διεπαφή. Είναι εμφανές ότι το κόστος αυτό εξαρτάται από τον αριθμό των e-NBs που συμμετέχουν στα σχήματα μετάδοσης PTM και MBSFN αντίστοιχα.

$$C_{M1\_PTM} = D_{M1} \cdot N_p \cdot N_{eNB\_PTM} \quad (6)$$

$$C_{M1\_MBSFN} = D_{M1} \cdot N_p \cdot N_{eNB\_MBSFN} \quad (7)$$

Ο όρος  $D_{M1}$  εξαρτάται από τον αριθμό των παρεμβαλλόμενων κόμβων στην M1 διεπαφή και από την ικανότητα σύνδεσης που παρέχει η M1 διεπαφή [18]. Γενικότερα, αυτό σημαίνει ότι μια μεγάλη ικανότητα σύνδεσης ανταποκρίνεται σε μικρό κόστος μετάδοσης πακέτου στη M1 διεπαφή και μικρό αριθμό ενδιάμεσων κόμβων, και κατά συνέπεια σε μικρότερο συνολικό κόστος μετάδοσης.

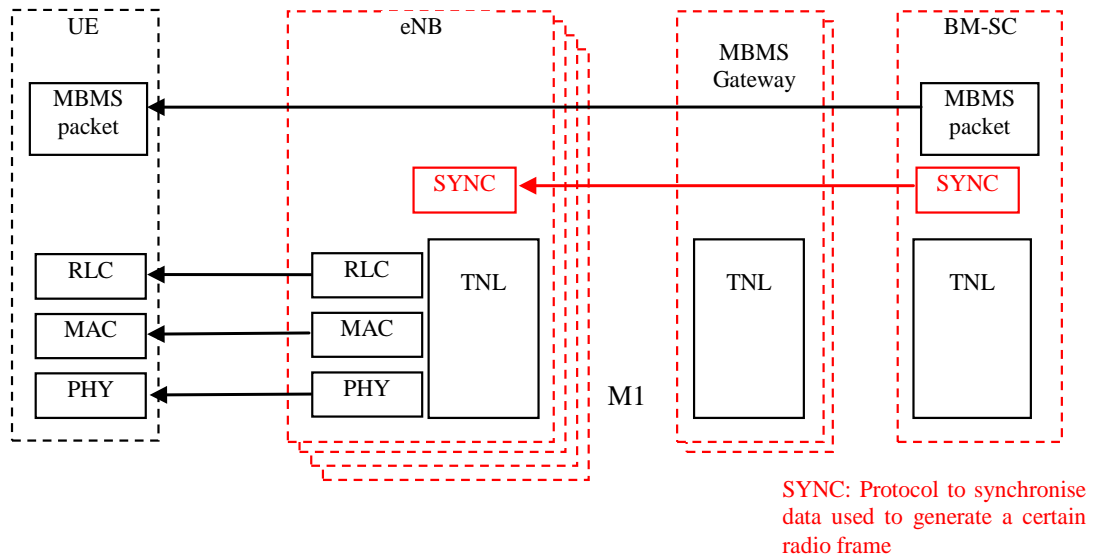
#### 6.5 Κόστος της Διαδικασίας Συγχρονισμού

Το κόστος συγχρονισμού εμφανίζεται μόνο στην περίπτωση του MBSFN τρόπου μετάδοσης. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός, ότι με τον όρο συγχρονισμό θεωρούμε το χρονισμό ραδιοφωνικής μετάδοσης πλαισίων και τον εντοπισμό των απωλειών στα πακέτα.

Τα μεταδιδόμενα πακέτα έχουν διαφορετικό μέγεθος κατά τη διέλευσή τους από την ασύρματη διεπαφή. Ο έλεγχος για την ευρωστία (robustness) των πακέτων διεξάγεται σύμφωνα με το ρυθμό απώλειας δεδομένων και τη διαδικασία συγχρονισμού. Γίνεται χρήση χρονικών σημάνσεων, αριθμών ακολουθίας και μετρητών byte.



Οι μεταδόσεις από πολλά κελιά (e-NBs) σε μία MBSFN περιοχή πρέπει να είναι αυστηρά συγχρονισμένες με την ακρίβεια μερικών μs, έτσι ώστε να επιτευχθεί στοίχιση σε επίπεδο συμβόλων στο κυκλικό πρόθεμα που χρησιμοποιείται. Η μέθοδος για να επιτευχθεί συγχρονισμός επαφίεται στην κατασκευή του κάθε κόμβου. Η συνολική αρχιτεκτονική για το συγχρονισμό από την πλευρά του χρήστη απεικονίζεται στην Εικόνα 5.



**Εικόνα 5. Συγχρονισμός Περιεχομένου στον MBSFN τρόπο μετάδοσης.**

Το επίπεδο πρωτοκόλλου SYNC καθορίζεται στο επίπεδο μεταφοράς δικτύου για να υποστηρίξει το συγχρονισμό περιεχομένου. Μεταφέρει επιπρόσθετη πληροφορία που ενεργοποιεί τους e-NBs κόμβους έτσι ώστε να προσδιοριστεί ο χρονισμός για τη μετάδοση ασύρματων πλαισίων και να εντοπιστεί η απώλεια στα μεταδιδόμενα πακέτα. Το επίπεδο πρωτοκόλλου SYNC λειτουργεί μεταξύ των e-BM-SC και e-NB. Σαν αποτέλεσμα, ο συγχρονισμός διασφαλίζει ότι το ίδιο περιεχόμενο θα σταλεί ασύρματα σε όλους τους UEs [11].

Το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος για τη μετάδοση των πακέτων συγχρονισμού προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση όπου με  $D_{M1}$  αντιπροσωπεύεται το κόστος μετάδοσης ενός πακέτου πάνω από τη M1 διεπαφή και με  $N_{p\_burst}$  είναι η μέση τιμή του αριθμού των πακέτων που διαβιβάζονται κάθε χρονική στιγμή σε διαδοχικές εκπομπές της MBSFN συνόδου [29].

$$C_{SYNC} = \frac{N_p}{N_{p\_burst}} \cdot D_{M1} \cdot N_{eNB\_MBSFN} \quad (8)$$

## 6.6 Συνολικό Τηλεπικοινωνιακό Κόστος Μετάδοσης

Το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος είναι μία μετρική που περικλείει τον αριθμό των μεταδιδόμενων πακέτων και όλες τις ιδιότητες των διεπαφών και των ενδιάμεσων κόμβων. Η εξίσωση για τον ακριβή προσδιορισμό του σχηματίζεται με συνδυασμό του κόστους για κάθε ένα από τους PTM και MBSFN τρόπους μετάδοσης, καθώς και του κόστους για τις rolling διαδικασίες. Κατά συνέπεια, η εξίσωση που δίνει το συνολικό κόστος είναι η παρακάτω:

$$C_{TOTAL} = C_{PTM} + C_{MBSFN} + C_{Polling} \quad (9)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω λεπτομερή ανάλυση, το συνολικό κόστος για την MBSFN μετάδοση δίνεται από τον τύπο:

$$C_{MBSFN} = C_{Uu\_MBSFN} + C_{M1\_MBSFN} + C_{SYNC} \quad (10)$$

Στον υπολογισμό του κόστους για PTM μετάδοση λαμβάνονται υπόψη τα τηλεπικοινωνιακά κόστη για την ασύρματη διεπαφή καθώς και για τους υλικούς κόμβους του δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση δεν λαμβάνεται υπόψη κάποιο rolling κόστος. Η εξίσωση παρακάτω δείχνει το συνολικό κόστος για το PTM σχήμα μετάδοσης:

$$C_{PTM} = C_{Uu\_PTM} + C_{M1\_PTM} \quad (11)$$

# 7

## *Διαδικασία Διόρθωσης*

### *Λαθών και Εκτίμηση*

### *Κόστους*

Σε αυτή την ενότητα γίνεται ανάλυση τριών προσεγγίσεων για την υλοποίηση της διαδικασίας διόρθωσης λαθών. Κάθε προσέγγιση χρησιμοποιείται ανάλογα με την αντίστοιχη τεχνική για διόρθωση λαθών.

- **Προσέγγιση A1:** Απλή αναμετάδοση τμημάτων του αρχείου που έχουν χαθεί ή καταστραφεί κατά τη μετάδοση.
- **Προσέγγιση A2:** Σταθερή FEC επιβάρυνση κατά τη διάρκεια παροχής της MBMS υπηρεσίας σε συνδυασμό με αναμετάδοση τμημάτων του αρχείου που έχουν χαθεί ή καταστραφεί κατά τη μετάδοση.
- **Προσέγγιση A3:** Αποκλειστική μετάδοση επιπρόσθετων συμβόλων FEC για τη διόρθωση τμημάτων του αρχείου.

Αρχικά εξετάζεται η προσέγγιση όπου δεν γίνεται χρήση καμίας FEC τεχνικής (A1). Σε αυτή την περίπτωση, η τεχνική για διόρθωση λαθών που χρησιμοποιείται είναι η αναμετάδοση τμημάτων του πακέτου. Αυτό σημαίνει ότι οι δέκτες ζητούν την αναμετάδοση τμημάτων του πρώτου αρχείου που στάλθηκε στο τέλος της συνόδου. Από τη στιγμή που χρησιμοποιούνται οι MBSFN και PTM μέθοδοι μετάδοσης, τα

χαμένα τμήματα του αρχείου που ζητήθηκαν μεταδίδονται σε όλους τους χρήστες ανεξάρτητα από το αν έχουν ζητηθεί ή όχι από τον κάθε χρήστη χωριστά.

Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση χρήσης FEC τεχνικών διόρθωσης λαθών (A2 και A3) το αρχείο που λαμβάνεται χωρίζεται σε ένα ή περισσότερα μπλοκ (source blocks). Για κάθε μπλοκ του αρχείου, μπορούν να δημιουργηθούν επιπρόσθετα σύμβολα για την επιδιόρθωση του με την εφαρμογή Raptor κωδικοποίησης.

Ιδανικά σε μία MBSFN σύνοδο, όλοι οι multicast χρήστες έχουν συλλέξει τα μπλοκ του ζητούμενου αρχείου και συνεπώς μία πλήρης διόρθωση του αρχείου μπορεί να θεωρηθεί πιθανή. Όμως αυτή η περίπτωση συμβαίνει σπάνια σε ρεαλιστικές συνθήκες που μπορεί να βρεθεί ένα δίκτυο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, λόγω διάφορων τυχαίων συνθηκών που επικρατούν στο δίκτυο, οι δέκτες της υπηρεσίας, δεν μπορούν να ανακτήσουν όλα τα μπλοκ ενός αρχείου ή κάποια από τα ανακτηθέντα μπλοκ είναι κατεστραμμένα.

Για να επιλυθεί αυτή η κατάσταση και να διορθωθούν τα χαμένα ή κατεστραμμένα τμήματα αρχείου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προτυποποιημένη μέθοδος που έχει οριστεί από τη 3GPP (A2) [30]. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο μπορεί να επιτευχθεί πλήρης διόρθωση λαθών μέσω της μετάδοσης των πηγαίων και επιπρόσθετων δεδομένων σε συνδυασμό με την επιλεκτική αναμετάδοση τμημάτων του αρχείου που λαμβάνει στο τέλος της αρχικής μετάδοσης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προτείνεται ένας μηχανισμός που χρησιμοποιεί αποκλειστικά τη χρήση FEC κωδίκων για αποδοτική διόρθωση λαθών κατά τη διάρκεια μετάδοσης μέσω της MBMS υπηρεσίας με χρήση της MBSFN λειτουργίας. Ο μηχανισμός που προτείνεται είναι ο εξής: ο αποστολέας παράγει επιπρόσθετα σύμβολα συνεχώς, μέχρι να λάβει μηνύματα επιβεβαίωσης από όλους τους χρήστες που συμμετέχουν στην σύνοδο (A3). Ως εκ τούτου, κάθε παραλήπτης στέλνει στον αποστολέα ένα μήνυμα επιβεβαίωσης μόλις λάβει όλη την απαιτούμενη συλλογή συμβόλων που είναι απαραίτητη για την πλήρη διόρθωση του λαμβανόμενου αρχείου.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος που προκύπτει από τη χρήση μιας συγκεκριμένης τεχνικής διόρθωσης λαθών σε ένα αρχείο εξαρτάται από την τρέχουσα διαμόρφωση της τοπολογίας του δικτύου. Οπότε είναι απαραίτητο να καθοριστεί ο τρόπος υπολογισμού του τηλεπικοινωνιακού κόστους για

κάθε προσέγγιση διόρθωσης λαθών. Γι' αυτό το σκοπό προτείνεται ένας αλγόριθμος για τον υπολογισμό του τηλεπικοινωνιακού κόστους για κάθε προσέγγιση που παρουσιάστηκε παραπάνω.

## **7.1 Αλγόριθμος Εκτίμησης Κόστους για Διάφορες**

### ***Προσεγγίσεις Διόρθωσης Λαθών και***

### ***Διαμορφώσεις του LTE Δικτύου***

Η κύρια ιδέα του αλγορίθμου ξεκινά με τη δημιουργία της περιοχής που θα καλύπτεται με τον MBSFN τρόπο μετάδοσης δεδομένων. Στην περίπτωση που η MBMS υπηρεσία παρέχεται μέσω PTM σχήματος μετάδοσης, δεν θα υπάρχει καθόλου MBSFN περιοχή. Σύμφωνα με την επιλεγμένη διαμόρφωση της δημιουργημένης περιοχής, γίνεται επιλογή ανάμεσα σε μία από τις διαθέσιμες προσεγγίσεις για διόρθωση λαθών που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Στη συνέχεια υπολογίζεται το κανονικοποιημένο τηλεπικοινωνιακό κόστος για την εκάστοτε προσέγγιση για διόρθωση λαθών. Ο όρος κανονικοποίηση για τις τιμές του κόστους χρησιμοποιείται για τη λήψη αποτελεσμάτων που εξαρτώνται το λιγότερο δυνατό από την τρέχουσα τοπολογία του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι υπολογίζουμε το συνολικό κόστος για κάθε τοπολογία και στη συνέχεια διαιρούμε τα τρέχοντα υπολογισμένα κόστη με το μέγιστο που έχει υπολογιστεί για την κάθε μία.

Η τιμή του κανονικοποιημένου κόστους κυμαίνεται ανάμεσα στο 0 και το 1 και ισούται με τη τιμή του τρέχοντος κόστους από το αντίστοιχο μέγιστο. Ο ψευδοκώδικας που περιγράφει τον αλγόριθμο διαχωρίζει τρεις περιπτώσεις που αντιπροσωπεύουν τις τρεις προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση λαθών. Η υλοποίηση της πρώτης περίπτωσης περιλαμβάνει τον εντοπισμό των χαμένων τμημάτων που αρχείου, την απλή αναμετάδοση τους και τον υπολογισμό του συνολικού κανονικοποιημένου κόστους.

Στη δεύτερη περίπτωση, δηλώνεται το ποσό του σταθερού FEC κώδικα που θα χρησιμοποιηθεί στον αλγόριθμο. Η διαδικασία διόρθωσης λαθών, χρησιμοποιεί σύμβολα που εξαρτώνται από το ποσό του FEC κώδικα και όταν αυτό το ποσό καταναλωθεί, αρχίζει η απλή αναμετάδοση των χαμένων τμημάτων του αρχείου. Σε

αυτή την περίπτωση, τα δύο μέρη του κόστους (το κόστος για το FEC κώδικα και αυτό για την αναμετάδοση) υπολογίζονται και αθροίζονται.

Όταν η προσέγγιση για διόρθωση λαθών σε ένα αρχείο περιλαμβάνει μόνο χρήση Raptor κωδίκων (τρίτη περίπτωση) γίνεται το εξής: παρακολουθούμε ποιοι χρήστες έχουν στείλει μήνυμα επιβεβαίωσης και συνεχίζουμε να κωδικοποιούμε επιπρόσθετα σύμβολα μέχρι όλοι οι χρήστες που συμμετέχουν στη σύνοδο να στείλουν μηνύματα επιβεβαίωσης. Τότε θεωρούμε ότι έγινε πλήρης διαδικασία διόρθωσης αρχείου.

#### **% Cost Estimation Mechanism for File Repair Schemes and Deployments**

```
deployment = create_deployment( )
switch(file_recovery_approach)
case (retransmission)
    identify_missing_file_segments( )
    r=retransmit(packet_num, deployment)
    calculate_cost(r)
case (fixed_FEC_overhead)
    break_file_into_source_blocks( )
    identify_missing_file_segments( )
    define_fixed_FEC_code( )
    while(FEC>=0)
    {
        a1=recover_with_FEC(packet_num,deployment)
        calculate_cost(a1)+= calculate_cost(a1)
    }
    a2=retransmit(rest_packet_num, deployment)
    calculate_cost(a2)
    total =calculate_cost(a1)+ calculate_cost(a2)
case (redundant_symbols)
    break_file_into_source_blocks( )
    identify_missing_file_segments( )
    create_raptor_coder/decoder( )
    while(receive_acknowledgment)
    {
        for(i=0;i<MAX_SYMBOLS;i++)
```

```
        {  
            send_symbols(i)  
            calculate_cost(i)+=calculate_cost  
        }  
    }
```

## 7.2 Αλγόριθμος για Βελτιστοποίηση του Κόστους

### *Μετάδοσης*

Σύμφωνα με τον παραπάνω αλγόριθμο υπολογίζονται τα κόστη για την κάθε προσέγγιση διόρθωσης λαθών. Για το κάθε ένα από αυτά τα κόστη μπορεί να βρεθεί μία βέλτιστη τιμή. Παρακάτω δίνεται ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου που σχεδιάσαμε για τον υπολογισμό του βέλτιστου τηλεπικοινωνιακού κόστους. Αυτός ο αλγόριθμος εφαρμόζεται και στις τρεις προσεγγίσεις. Είναι ο κύριος αλγόριθμος για τη δημιουργία του εργαλείου για τον υπολογισμό MBSFN / PTM κόστους [12].

Η κύρια ιδέα αυτού του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, είναι να συγκρίνουμε διαδοχικά τα ενδιάμεσα κόστη μέχρι να βρεθεί το ελάχιστο από αυτά. Πιο συγκεκριμένα στον ψευδοκώδικα, η υπορουτίνα `grid` κατασκευάζει το περιβάλλον στο οποίο διεξάγονται τα πειράματα. Η υπορουτίνα `evaluate` υπολογίζει το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος για κάθε κελί της τοπολογίας και στη συνέχεια επιστρέφει το συνολικό κόστος για όλο το σύστημα.

Στη συνέχεια η υπορουτίνα `mutate` ενεργοποιεί και απενεργοποιεί τυχαία τα κελιά που εξυπηρετούνται με την MBSFN λειτουργία. Στο τέλος, επιστρέφει όλες τις αλλαγές που έχουν γίνει στην τοπολογία. Η υπορουτίνα `demutate` μπορεί να αναστρέψει αυτές τις αλλαγές όταν εφαρμοστεί στην περίπτωση που η αξιολόγηση της τοπολογίας δείξει μία μείωση του κόστους του συστήματος (που θα έχουν επιφέρει οι αλλαγές).

### **% Telecommunication Cost Optimization Algorithm**

```
grid = create_grid( )
create_rings(grid, number_of_assisting_rings)
cost = evaluate(grid)
best = cost
output("Initial Cost: ", best)
While (not user_break)
    mutations = mutate(grid)
    cost = evaluate(grid)
    if cost < best then
        best = cost
        output("Current cost: ", best)
        export_grid_to_file(grid)
    elseif cost == best then
        best = cost
    else
        demutate(grid, mutations)
    end
end
end
```



# 8

## *Πειραματική*

## *Αξιολόγηση*

Σε αυτή την ενότητα της παρούσας διπλωματική εργασίας θα γίνει η πειραματική αξιολόγηση όλων των τεχνικών που έχουν παρουσιαστεί έως τώρα. Οι τρεις προσεγγίσεις για διόρθωση λαθών που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 7 εφαρμόζονται σε κάθε μία από τις τέσσερις διαμορφώσεις δικτύου που παρουσιάστηκαν στην υποενότητα 6.1. Για κάθε μία περίπτωση, υπολογίζεται το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος σύμφωνα με διαφορετικούς παράγοντες όπως η απώλεια πακέτων και ο αριθμός χρηστών σε κάθε κελί.

### **8.1 Παράμετροι Εξομοίωσης**

Οι παράμετροι εξομοίωσης του συστήματος που λαμβάνονται υπόψη παρουσιάζονται στον Πίνακα II. Το σενάριο αξιολόγησης που χρησιμοποιείται για το LTE είναι η περίπτωση macro case 1 με 1.4 εύρος ζώνης και χαμηλή κινητικότητα χρηστών. Όλα τα πειράματα διεξάγονται για 100 χρήστες. Τα μοντέλα διάδοσης για το macro cell σενάριο βασίζονται στο Okamura-Hata μοντέλο [28].

Αναλυτικά σε ότι αφορά τις παραμέτρους της εξομοίωσης χρησιμοποιούμε εξαγωνικό πλέγμα για τη διάταξη του δικτύου. Η απόσταση μεταξύ των τοποθεσιών (Inter-site distance) είναι 500 m. Ο σταθμός βάσης μεταδίδει με 46 dBm ισχύ ενώ κάθε χρήστης κινείται με 3 Km/h.

Το εύρος ζώνης ενός συστήματος είναι το εύρος της συχνότητας στο οποίο το σύστημα θα μπορέσει να λειτουργήσει ικανοποιητικά. Το εύρος ενός επικοινωνιακού

συστήματος καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το ποσό ή την ταχύτητα των μεταδιδόμενων δεδομένων. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει στενός συσχετισμός μεταξύ του εύρους των συχνοτήτων που επιτρέπεται (ή μπορούν) να χρησιμοποιηθούν για μετάδοση και για το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (μετριέται σε bps – bits per seconds). Λόγω των παραπάνω, γίνονται οι επιλογές για το εύρος ζώνης του συστήματος καθώς και για το εύρος ζώνης της κάθε φέρουσας.

**ΠΙΝΑΚΑΣ II ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ**

| Parameter                 | Units | Value              |
|---------------------------|-------|--------------------|
| Cellular layout           |       | Hexagonal grid     |
| Inter Site Distance (ISD) | m     | 500                |
| Carrier frequency         | MHz   | 2000               |
| System bandwidth          | MHz   | 1.4                |
| Channel model             |       | 3GPP Typical Urban |
| BS transmit power         | dBm   | 46                 |
| UE speed                  | Km/h  | 3                  |

Είναι πολύ σημαντικό να γίνει σαφές, ότι η αξιολόγηση των παραπάνω προσεγγίσεων για διόρθωση λαθών σε αρχείο γίνεται από σκοπιά του συνολικού τηλεπικοινωνιακού κόστους. Η εκτίμηση της τιμής του κάθε παράγοντα του κόστους βασίζεται στις μετρικές του τηλεπικοινωνιακού κόστους για τα σχήματα μετάδοσης MBSFN και PTM που δίνονται από τις εξισώσεις (10) και (11) αντίστοιχα [18].

Εν συντομία, το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος για τη μετάδοση δεδομένων κατά τη διάρκεια της MBSFN λειτουργίας αποτελείται από το κόστος για τη μετάδοση από την ασύρματη διεπαφή του LTE [11], το κόστος μετάδοσης πάνω από τους υλικούς κόμβους του δικτύου ([21] και [22]), το κόστος συγχρονισμού καθώς και το κόστος για την polling διαδικασία σε κάθε κόμβο e-Node B (σταθμό βάσης). Για την PTM λειτουργία, γίνεται εμπλοκή των ίδιων παραμέτρων εκτός από το κόστος συγχρονισμού. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι εξετάζεται λεπτομερώς η FEC διαδικασία και χρησιμοποιείται η ανάλυση κόστους (που προηγήθηκε στην ενότητα 6) για να υποστηριχθεί η αξιολόγηση της FEC διαδικασίας.

Το πρώτο μέρος των πειραμάτων αφορά το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος για τις διαφορετικές προσεγγίσεις που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 7. Τροποποιούμε μερικές παραμέτρους όπως την απώλεια πακέτων, τον αριθμό των εξυπηρετούμενων χρηστών και την επιβάρυνση από το FEC κώδικα.

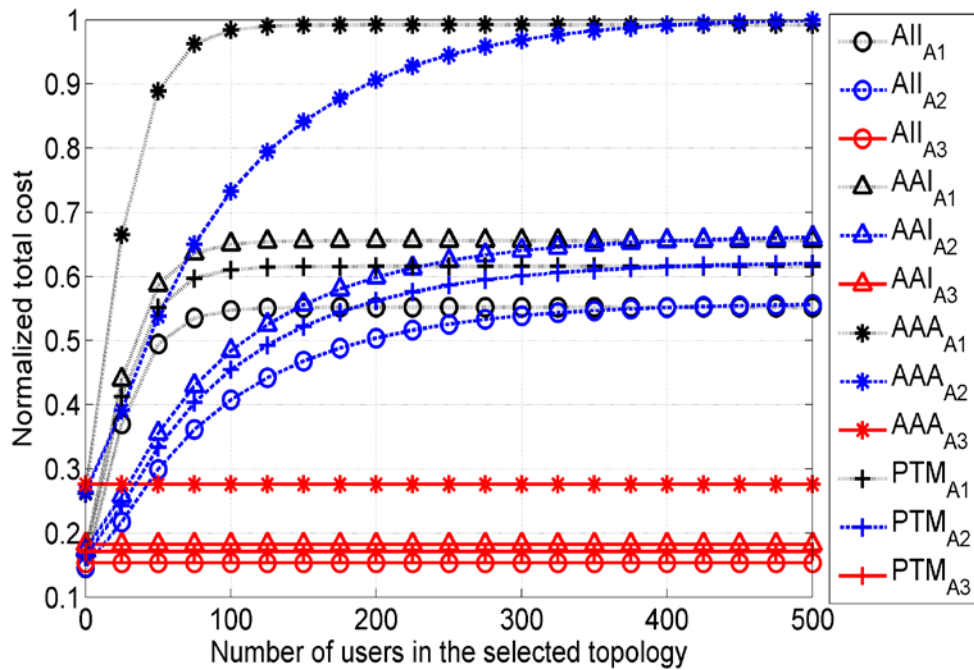
Στο δεύτερο μέρος, διεξάγουμε πειράματα που συνδυάζουν την MBMS υπηρεσία με μεθόδους FEC για διόρθωση λαθών. Γίνεται υπολογισμός του συνολικού κόστους για την ανάκτηση αρχείων, ενώ ο αριθμός των κελιών που περιέχουν χρήστες αυξάνεται.

## ***8.2 Τηλεπικοινωνιακό Κόστος για την Ανάκτηση Αρχείου***

Σε αυτή την υποενότητα, εξετάζεται το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος για την ανάκτηση αρχείων για τις διαμορφώσεις της τοπολογίας ενός LTE δικτύου που απεικονίζονται στην Εικόνα 4.

### ***8.2.1 Τηλεπικοινωνιακό Κόστος έναντι του Αριθμού Multicast Χρηστών***

Αρχικά, γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης της επιρροής των multicast χρηστών στο συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος για τη μετάδοση της multicast MBMS υπηρεσίας. Η Εικόνα 6 δείχνει το κανονικοποιημένο συνολικό κόστος των τριών προσεγγίσεων σαν συνάρτηση του αριθμού των χρηστών στην MBSFN περιοχή. Ο ρυθμός απώλειας πακέτων είναι 5% και το ποσό της σταθερής FEC επιβάρυνσης είναι 5%.



Εικόνα 6. Συνολικό κόστος έναντι του αριθμού των χρηστών.

Ένα σημαντικό αποτέλεσμα που προκύπτει, είναι ότι η συμβατική μέθοδος της αναμετάδοσης χαμένων τμημάτων του αρχείου (A1) και η εφαρμογή μιας σταθερής FEC επιβάρυνσης (A2), μπορούν να κρατήσουν χαμηλή την τιμή του τηλεπικοινωνιακού κόστους μόνο για χαμηλό αριθμό χρηστών.

Όσο ο αριθμός χρηστών αυξάνεται, οι προσεγγίσεις A1 και A2 δεν εκτελούνται καλά, επειδή η αύξηση του αριθμού των χρηστών οδηγεί σε αύξηση της πιθανότητας αστοχίας. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει ότι υπάρχει έντονη ανάγκη και για αναμετάδοση των χαμένων τμημάτων των αρχείου.

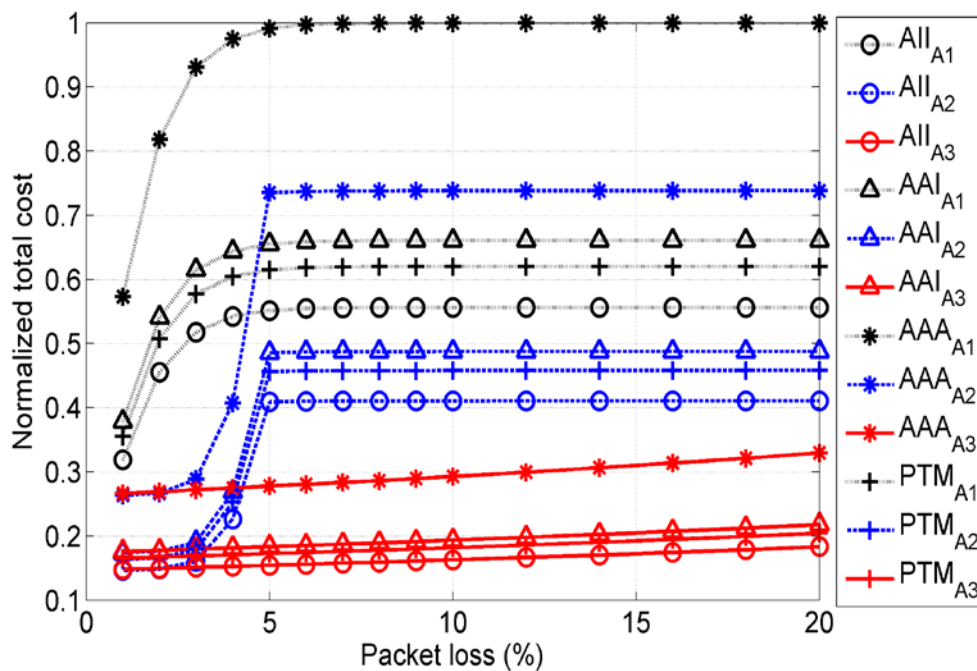
Η προσέγγιση A3 (αποστολή επιπρόσθετων FEC συμβόλων) αποδεικνύεται ότι είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος να εξασφαλιστεί αξιόπιστη υποδοχής των MBSFN δεδομένων μεταξύ των τριών προσεγγίσεων.

Επιπλέον, το κόστος για την ανακατασκευή ενός αρχείου, όταν χρησιμοποιείται η PTM λειτουργία βρίσκεται μεταξύ του κόστους για την περίπτωση AII (MBSFN περιοχή με έναν βοηθητικό δακτύλιο και δύο παρεμβαλλόμενους) και AAI (MBSFN με δύο βοηθητικούς δακτυλίους). Αυτό το κόστος παραμένει σε αποδεκτά επίπεδα όσο αυξάνεται ο πληθυσμός των χρηστών. Η περίπτωση AII είναι η βέλτιστη σε σχέση με τις άλλες.

## 8.2.2 Τηλεπικοινωνιακό Κόστος έναντι της Απώλειας Πακέτων

Για διαφορετικούς ρυθμούς απώλειας πακέτων, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 7 η συμβατική αναμετάδοση χαμένων τμημάτων του αρχείου (προσέγγιση A1) είναι η λιγότερη αποδοτική μέθοδος σε σύγκριση με τις άλλες δύο προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν FEC τεχνικές, ανεξάρτητα του ποσοστού απώλειας πακέτων.

Οι σταθερές παράμετροι σε αυτό το πείραμα είναι ο αριθμός των multicast χρηστών (100) και η σταθερή FEC επιβάρυνση (5%). Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι η περίπτωση AII είναι η πιο αποδοτική από πλευρά κόστους.



Εικόνα 7. Συνολικό κόστος έναντι του ρυθμού απώλειας πακέτων.

Επιπλέον, στην Εικόνα 7, παρατηρείται ότι η προσέγγιση A2 έχει σχεδόν το ίδιο τηλεπικοινωνιακό κόστος με την προσέγγιση A3 έως ότου το ποσοστό απώλειας πακέτων να φτάσει το 3%. Όμως, παρατηρείται ότι καθώς το ποσοστό απώλειας πακέτων αυξάνεται, τότε το κόστος της προσέγγισης A2 αυξάνεται εκθετικά. Από την άλλη πλευρά, μία αύξηση στο ποσοστό απώλειας πακέτων δημιουργεί μία γραμμική αύξηση στο κόστος της προσέγγισης A3.

## 8.2.3 Τηλεπικοινωνιακό Κόστος έναντι της FEC Επιβάρυνσης

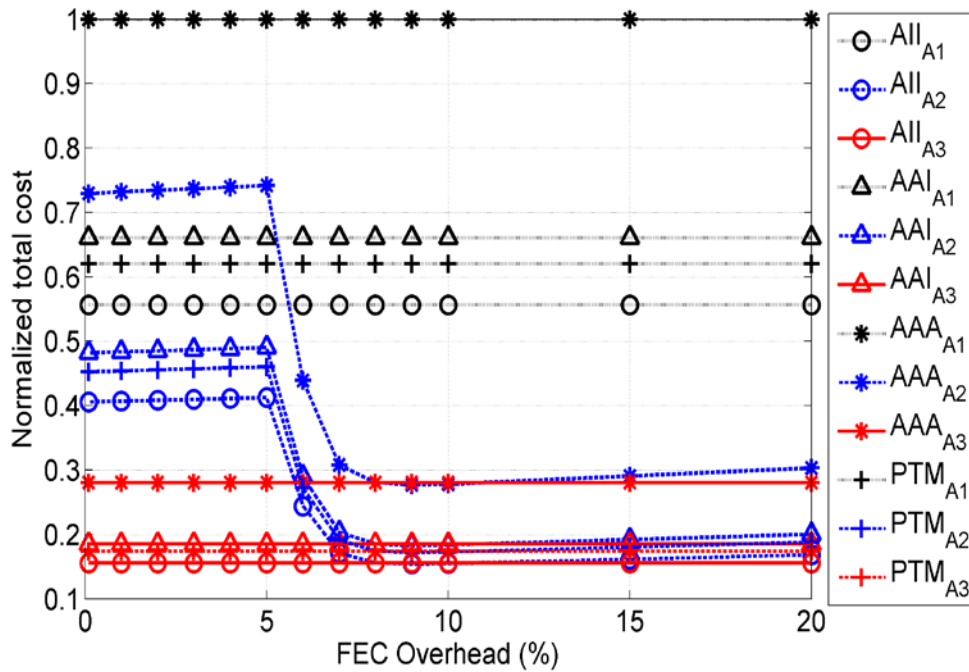
Σε αυτή την υποενότητα παρουσιάζεται το τηλεπικοινωνιακό κόστος σε ότι αφορά το ποσό της σταθερής FEC επιβάρυνσης. Στα μοντέλα που ενσωματώνουν FEC τεχνικές

το να επιλέξει κανείς την κατάλληλη ποσότητα της FEC επιβάρυνσης, είναι κριτικής σημασίας, έτσι ώστε να αξιοποιηθούν κατά το μέγιστο τα οφέλη της χρήσης FEC.

Έχει παρατηρηθεί ότι μία μικρή ποσότητα FEC επιβάρυνσης δεν επηρεάζει τη μετάδοση και κατ' επέκταση η ανάγκη για αναμετάδοση πακέτων είναι επιτακτική. Τα πειράματα που παρουσιάζονται παρακάτω διεξάγονται με εφαρμογή 5% ποσοστού απώλειας πακέτων και 100 multicast χρήστες.

Στην Εικόνα 8, η προσέγγιση διασφαλίζει το χαμηλότερο κόστος και παρέχει μία σταθερή συμπεριφορά όταν αλλάζουν οι συνθήκες του δικτύου. Μία άλλη παρατήρηση έχει να κάνει με το σταθερό ποσό της FEC επιβάρυνσης. Αυτή η επιβάρυνση συσχετίζεται άμεσα με την απόδοση της προσέγγισης A2. Ενώ, η επιπρόσθετη πληροφορία που εισάγεται από τη FEC τεχνική παραμένει αρκετά χαμηλή (έως 5%), η μη αξιόπιστες επιπλέον αναμεταδόσεις κρατούν το συνολικό κόστος σε μη αποδεκτά υψηλά επίπεδα.

Μετά από αυτά τα όρια, η προσέγγιση A2 δείχνει τα ίδια αποτελέσματα με την προσέγγιση A3. Οι χαμηλότερες τιμές του συνολικού κόστους επιτυγχάνονται όταν το ποσοστό της επιπρόσθετης πληροφορίας που εισάγεται από την προσέγγιση A2 κυμαίνεται γύρω στο 8%. Κατά συνέπεια, ένα γενικό συμπέρασμα είναι ότι η διαμόρφωση δικτύου AΠ δείχνει τη βέλτιστη συμπεριφορά ανάμεσα σε όλες τις προτεινόμενες διαμορφώσεις δικτύου για τις παραμέτρους που εξετάζονται.



Εικόνα 8. Συνολικό κόστος έναντι της FEC επιβάρυνσης.

Παρακάτω παρουσιάζεται μία σύνοψη των συμπερασμάτων για το πώς κυμαίνεται η τιμή του συνολικού τηλεπικοινωνιακού κόστους βασιζόμενοι στη FEC επιβάρυνση και το ποσοστό της απώλειας πακέτων. Το πείραμα διεξάγεται για 100 χρήστες για κάθε MBSFN διαμόρφωση δικτύου (AAA, AII, AAI) με παρόμοια αποτελέσματα. Γι' αυτό το λόγο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την περίπτωση AII (με έναν βοηθητικό δακτύλιο), η οποία αποδείχθηκε η πιο αποτελεσματική.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο όρος «FEC επιβάρυνση» χρησιμοποιείται για σκοπούς σύγκρισης μιας και η σταθερή FEC επιβάρυνση επηρεάζει την απόδοση της προσέγγισης A2, όπου ο όρος όντως αντιπροσωπεύει το σταθερό ποσό FEC κώδικα που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη προσέγγιση.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΠΑΚΕΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ FEC ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ**

| FEC επιβάρυνση          | 0%     |        |        |        | 10%    |        |        |        |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ρυθμός Απώλειας Πακέτων | 5%     | 10%    | 15%    | 20%    | 5%     | 10%    | 15%    | 20%    |
| ΑΠ <sub>Α1</sub>        | 0.5514 | 0.5563 | 0.5563 | 0.5563 | 0.5514 | 0.5563 | 0.5563 | 0.5563 |
| ΑΠ <sub>Α2</sub>        | 0.5514 | 0.5563 | 0.5563 | 0.5563 | 0.1534 | 0.4176 | 0.4176 | 0.4176 |
| ΑΠ <sub>Α3</sub>        | 0.1546 | 0.1630 | 0.1745 | 0.1833 | 0.1546 | 0.1630 | 0.1745 | 0.1833 |

| FEC επιβάρυνση          | 20%    |        |        |        | 30%    |        |        |        |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ρυθμός Απώλειας Πακέτων | 5%     | 10%    | 15%    | 20%    | 5%     | 10%    | 15%    | 20%    |
| ΑΠ <sub>Α1</sub>        | 0.5514 | 0.5563 | 0.5563 | 0.5563 | 0.5514 | 0.5563 | 0.5563 | 0.5563 |
| ΑΠ <sub>Α2</sub>        | 0.1671 | 0.1671 | 0.2488 | 0.4315 | 0.1810 | 0.1810 | 0.1810 | 0.1814 |
| ΑΠ <sub>Α3</sub>        | 0.1546 | 0.1630 | 0.1745 | 0.1833 | 0.1546 | 0.1630 | 0.1745 | 0.1833 |

Ο Πίνακας ΙΙΙ συνοψίζει τα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν σε αυτή την ενότητα. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι το συνολικό κόστος που εισήχθη από την προσέγγιση Α3 αυξάνεται γραμμικά όσο αυξάνεται ο ρυθμός απώλειας πακέτων, διασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο τη σταθερότητα του συστήματος.

Από την άλλη πλευρά, η αύξηση του ρυθμού απώλειας πακέτων προκαλεί μία απότομη αύξηση στο συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος των προσεγγίσεων Α1 και Α2.

Για λόγους σύγκρισης, στον Πίνακα ΙΙΙ έχει σημειωθεί με πράσινο χρώμα η μέθοδος που οδηγεί στο χαμηλότερο τηλεπικοινωνιακό κόστος σε σχέση με το ρυθμό απώλειας πακέτων και τη FEC επιβάρυνση. Είναι φανερό λοιπόν, ότι η μέθοδος Α3 διασφαλίζει (στην πλειονότητα των περιπτώσεων) το χαμηλότερο τηλεπικοινωνιακό κόστος ανεξάρτητα του ρυθμού απώλειας πακέτων και του ποσοστού της FEC επιβάρυνσης. Αυτό, μπορεί να αποφορτίσει το δίκτυο σε περιπτώσεις διέλευσης βαρύ φορτίου.

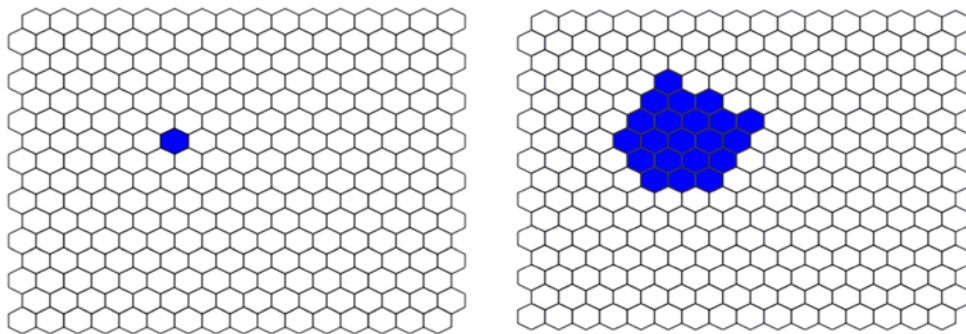


### 8.3 Τηλεπικοινωνιακό Κόστος για μία

#### Σταδιακά Αυξανόμενη Τοπολογία

Σε αυτό το πείραμα υπολογίζεται το συνολικό κόστος για την πλήρη ανάκτηση ενός αρχείου ενώ αλλάζει η τοπολογία. Στην αρχή η τοπολογία αποτελείται από ένα κελί και στη συνέχεια διαδοχικά καταλήγει να αποτελείται από 21 κελιά (Εικόνα 9). Η τελική τοπολογία κατασκευάζεται σε 14 βήματα διαδοχικά με την προσθήκη κελιών που είναι γειτονικά στο αρχικό κελί.

Σε αυτό το πείραμα λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες μεταβλητές: 100 multicast χρήστες, 5% σταθερή FEC επιβάρυνση και 5% απώλεια πακέτων.



Εικόνα 9. Πρώτο και τελευταίο στιγμιότυπο της δημιουργημένης τοπολογίας.

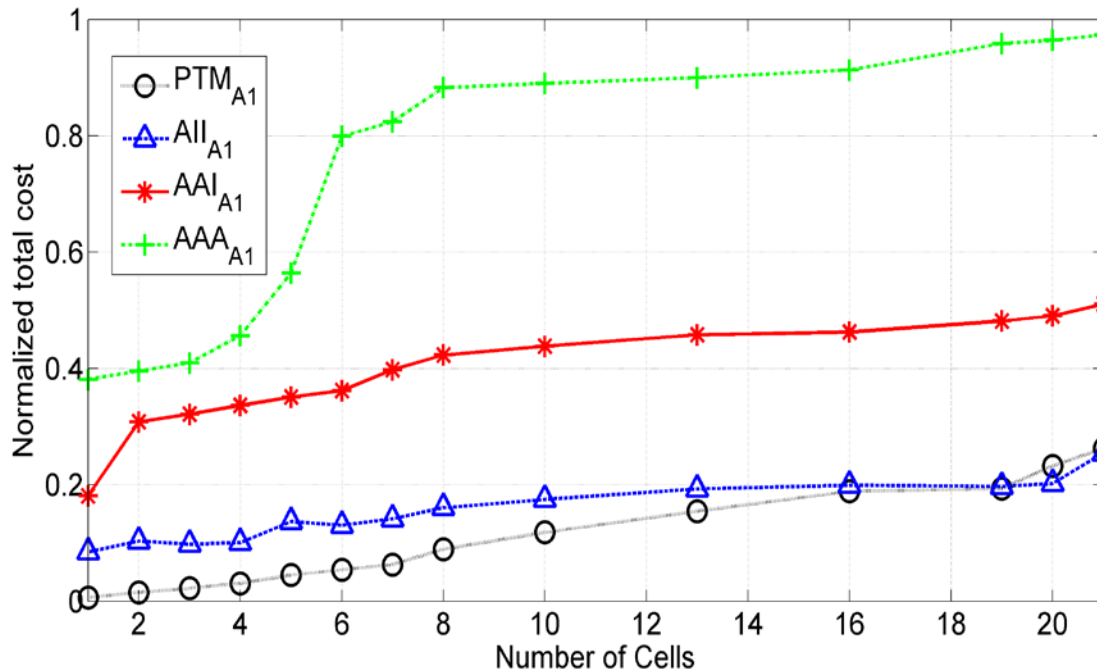
Όπως παρουσιάζουν οι εικόνες αυτής της ενότητας (Εικόνα 9 έως Εικόνα 11), η MBSFN λειτουργία (AII, AAI και AAA) δεν εμφανίζεται πάντα σαν την πιο οικονομική τεχνική μετάδοσης για όλες τις πιθανές διαμορφώσεις της τοπολογίας του δικτύου.

Πράγματι, όταν η τοπολογία αποτελείται από μικρό αριθμό κελιών, η PTM μετάδοση οδηγεί σε χαμηλότερο τηλεπικοινωνιακό κόστος. Από την άλλη πλευρά, για μεγαλύτερο αριθμό κελιών, οι τοπολογίες που χρησιμοποιούν την MBSFN λειτουργία μετάδοσης έχουν καλύτερη απόδοση. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι περισσότερο οικονομικό να γίνεται μετάδοση με χρήση MBSFN λειτουργίας όταν το σύνολο των γειτονικών κελιών που περιέχουν multicast χρήστες αυξάνεται.

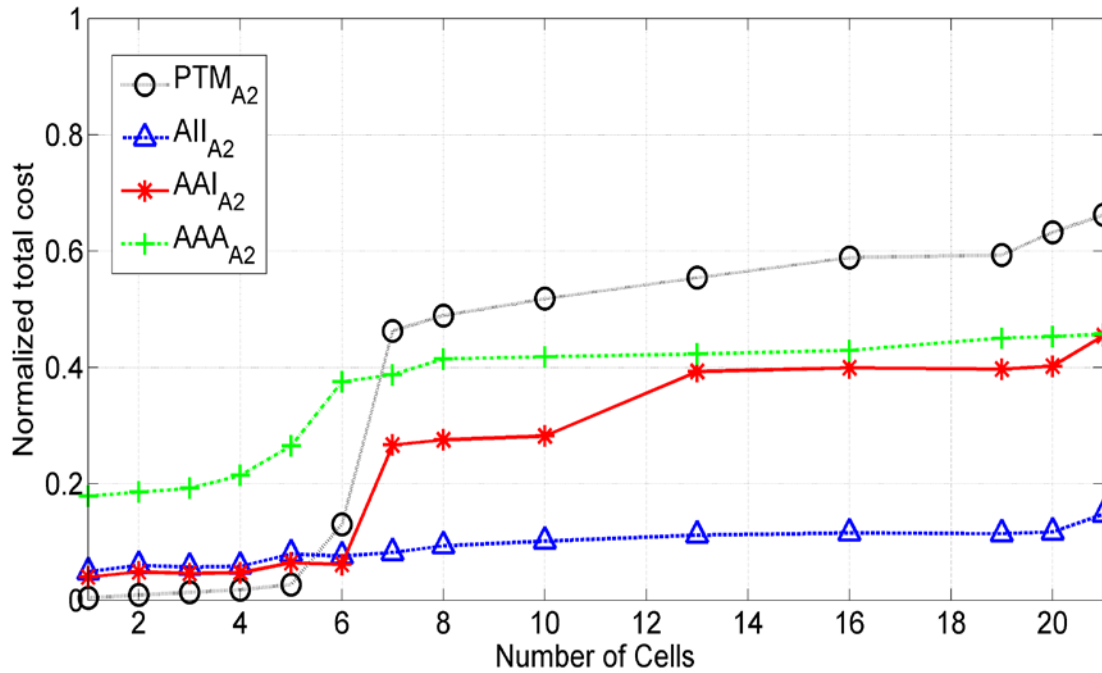
Στην Εικόνα 10 παρατηρείται ότι το υψηλότερο τηλεπικοινωνιακό κόστος για την πλήρη ανάκτηση ενός αρχείου με χρήσης της απλής αναμετάδοσης των χαμένων

τμημάτων του αρχείου εμφανίζεται στην τοπολογία που χρησιμοποιεί MBSFN λειτουργία με τρεις βοηθητικούς δακτυλίους.

Επιπλέον είναι αρκετά ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι η συμβατική μέθοδος της αναμετάδοσης είναι πιο αποδοτική από άποψη κόστους σε σχέση με τη διαμόρφωση δικτύου που χρησιμοποιεί PTM λειτουργία. Ειδικότερα για μικρό αριθμό κελιών (1-16), η PTM λειτουργία επιτυγχάνει χαμηλότερες τιμές κόστους.



Εικόνα 10. Κλιμακούμενη τοπολογία: συνολικό κόστος για την προσέγγιση A1 (αναμετάδοση τμημάτων αρχείου).

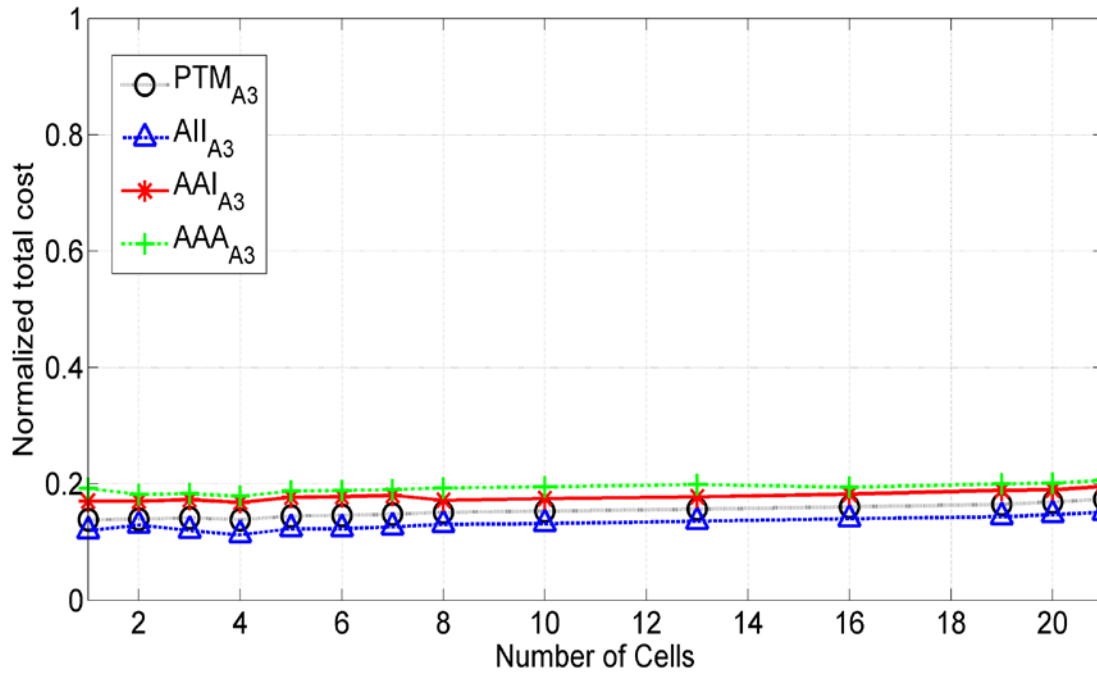


**Εικόνα 11. Κλιμακούμενη τοπολογία: συνολικό κόστος για την προσέγγιση A2 (σταθερή FEC επιβάρυνση).**

Σε ότι αφορά την Εικόνα 11, η PTM μετάδοση είναι η πιο αποδοτική από άποψη κόστους σε σχέση με τις άλλες προσεγγίσεις, μόνο όμως για μικρό αριθμό κελιών (1-5). Για μεγαλύτερο αριθμό κελιών, το αντίστοιχο κόστος αυξάνεται ραγδαία λόγω του γεγονότος ότι το σταθερό ποσό FEC επιβάρυνσης σε raptor κώδικα, έχει εξαντληθεί και κατά συνέπεια θα συμβεί επιπρόσθετη αναμετάδοση τμημάτων του αρχείου.

Η διαμόρφωση της τοπολογίας AII έχει παρόμοια συμπεριφορά με την τοπολογία AAI για μικρό αριθμό κελιών (1-6) αλλά για μεγαλύτερο αριθμό κελιών το κόστος για την περίπτωση AAI αυξάνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Το συνολικό συμπέρασμα είναι ότι η AII περίπτωση δείχνει γενικά μία σταθερή και αποδοτική από πλευρά κόστους συμπεριφορά.



**Εικόνα 12. Κλιμακούμενη τοπολογία: συνολικό κόστος για την προσέγγιση A3 (επιπρόσθετα σύμβολα).**

Τέλος, παρατηρώντας κανείς την Εικόνα 12, καταλήγει στο ότι η προσέγγιση A3 με τα επιπρόσθετα *partor* σύμβολα δείχνει μια σταθερή συμπεριφορά όσο αλλάζει ο αριθμός των κελιών για όλες τις προτεινόμενες τοπολογίες του δικτύου. Αυτό οδηγεί σε χαμηλό κόστος ανεξάρτητα του αριθμού των κελιών.

Οι τρεις εικόνες που προηγήθηκαν, μπορούν να συγκριθούν ώστε να εξαχθούν κάποια γενικά συμπεράσματα. Καμία από τις μεθόδους διόρθωσης λαθών δεν μπορεί να θεωρηθεί βέλτιστη για όλες τις διαμορφώσεις της τοπολογίας του δικτύου.

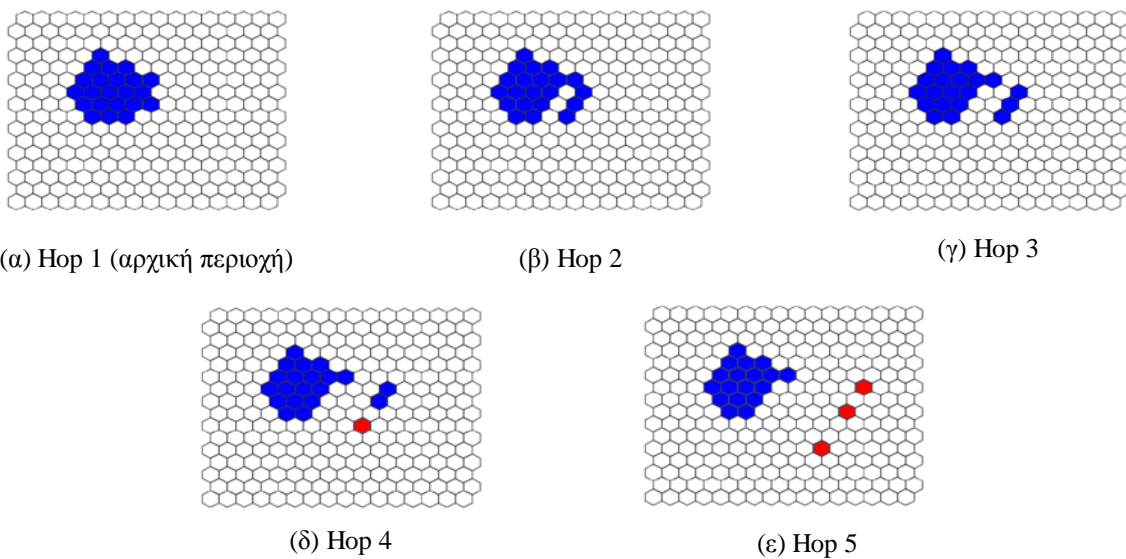
Είναι πολύ ενδιαφέρον να παρατηρηθεί ότι για μικρό αριθμό κελιών η προσέγγιση που χρησιμοποιεί σταθερή FEC επιβάρυνση (A2) φαίνεται να έχει καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με την προσέγγιση A3. Έτσι, για να επιλεγεί ο βέλτιστος τρόπος διόρθωσης λαθών σε ένα ασύρματο δίκτυο τέταρτης γενιάς με τις παραμέτρους που έχουν περιγραφεί, θα πρέπει κανείς να λάβει υπόψη του τόσο τη διαμόρφωση της τοπολογίας του δικτύου και τον τρόπο μετάδοσης (MBSFN, PTM ή και οι δύο μέθοδοι).

## 8.4 Τηλεπικοινωνιακό Κόστος για Κινούμενους

### Χρήστες σε ένα Σύνολο Κελιών

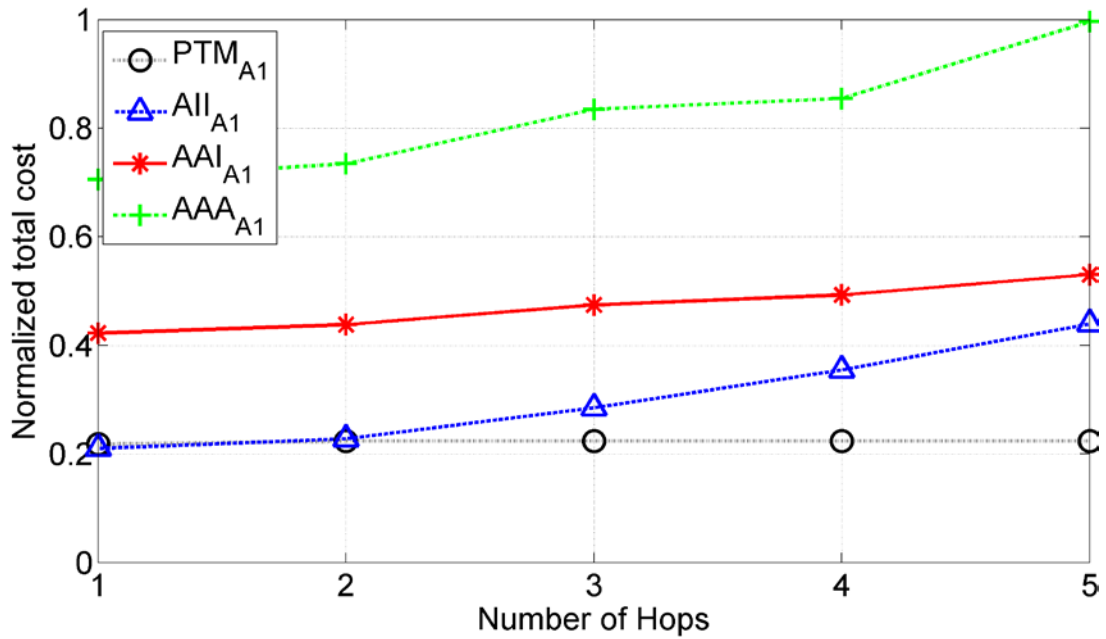
Σε αυτό το μέρος των πειραμάτων της εξομοίωσης προσπαθούμε να προσδιορίσουμε σε τι επίπεδα κυμαίνεται το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος για διόρθωση αρχείου καθώς αλλάζει η κατανομή των χρηστών.

Σε αυτή την κατεύθυνση, αρχικά θεωρούμε ένα σύνολο από 22 γειτονικά κελιά (primary area) όπου βρίσκονται τοποθετημένοι οι multicast χρήστες (Εικόνα 13α). Στη συνέχεια εξετάζουμε το σενάριο όπου κάποιοι χρήστες που βρίσκονται στα εξωτερικά κελιά της MBSFN περιοχής, απομακρύνονται από την αρχική περιοχή. Κάθε βήμα αυτής της διαδικασίας αποκαλείται “hop” (σκέλος – βήμα της διαδικασίας). Η σταδιακή «αποκόλληση» χρηστών από την αρχική περιοχή παρουσιάζεται αναλυτικά στην Εικόνα 13.



**Εικόνα 13.** Σύνολο κελιών που «κινούνται» εκτός της αρχικής περιοχής.

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται, το κανονικοποιημένο τηλεπικοινωνιακό κόστος για κάθε hop και για κάθε προσέγγιση διόρθωσης λαθών που χρησιμοποιείται. Επιπρόσθετα εξετάζονται όλες οι διαθέσιμες διαμορφώσεις δικτύου (PTM, AII, AAI και AAA).

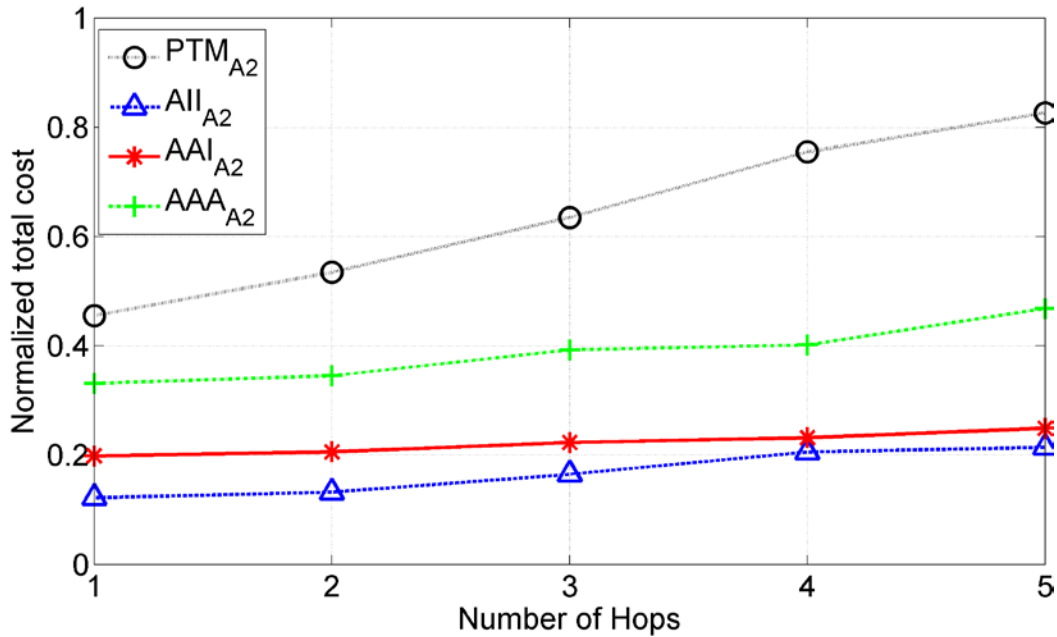


**Εικόνα 14. Κινούμενοι χρήστες: συνολικό κόστος για την προσέγγιση A1 (αναμετάδοση τμημάτων αρχείου).**

Οι γραφικές στην Εικόνα 14 παρουσιάζουν το κόστος για την προσέγγιση διόρθωσης λαθών A1. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, για τις τοπολογίες που γίνεται χρήση της MBSFN τεχνικής μετάδοσης (AII, AAI και AAA), το κόστος αυξάνεται όσο το σύνολο χρηστών απομακρύνεται από την αρχική τοπολογία.

Από την άλλη πλευρά, το κόστος για τη διαμόρφωση δικτύου που χρησιμοποιεί την PTM τεχνική μετάδοσης παραμένει σταθερό περίπου και χαμηλότερο σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις.

Κατά συνέπεια για την προσέγγιση A1, η πιο αποδοτική από πλευρά κόστους διαμόρφωση δικτύου είναι αυτή που χρησιμοποιεί την PTM τεχνική μετάδοσης.

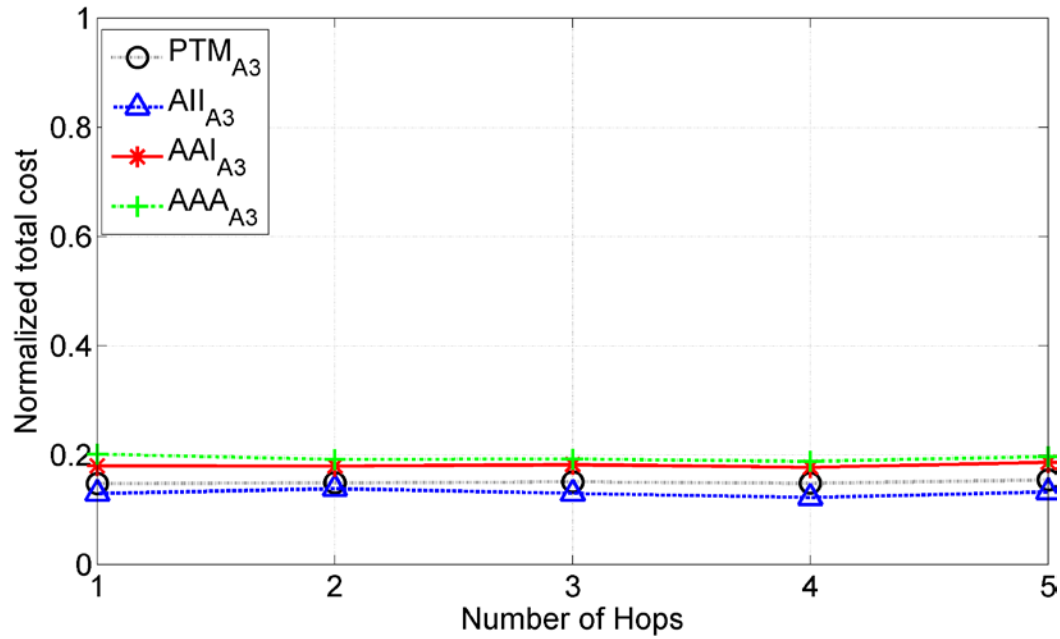


**Εικόνα 15. Κινούμενοι χρήστες: συνολικό κόστος για την προσέγγιση A2(σταθερή FEC επιβάρυνση).**

Στη συνέχεια της πειραματικής διαδικασίας, μελετάται το πώς μεταβάλλεται το κόστος για τη μεταφορά multicast πληθυσμού στην περίπτωση της προσέγγισης A2 για διόρθωση λαθών. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στην Εικόνα 15. Η σταθερή FEC επιβάρυνση ρυθμίζεται στο 5%.

Είναι αρκετά ενδιαφέρον να παρατηρήσει κανείς ότι όσο οι χρήστες απομακρύνονται από την αρχική περιοχή, το κόστος αυξάνεται για όλες τις διαμορφώσεις δικτύου.

Όμως, για την διαμόρφωση της τοπολογίας με τον έναν βοηθητικό δακτύλιο (AII) παρατηρεί κανείς ότι είναι πιο αποδοτική από πλευρά κόστους σε σχέση με τις άλλες διαμορφώσεις.



**Εικόνα 16. Κινούμενοι χρήστες: συνολικό κόστος για την προσέγγιση A3 (επιπρόσθετα σύμβολα).**

Τελικά, η Εικόνα 16 παρουσιάζει το κόστος όταν χρησιμοποιείται αποκλειστική μετάδοση επιπρόσθετων συμβόλων για την επιδιόρθωση των τμημάτων των αρχείων που το απαιτούν (προσέγγιση A3). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, για αυτή την προσέγγιση η διαμόρφωση τοπολογίας AII οδηγεί στο χαμηλότερο τηλεπικοινωνιακό κόστος, ενώ η AAA οδηγεί στο υψηλότερο.



# 9

## *Επίλογος*

Σε αυτή την ενότητα συνοψίζεται η παρουσίαση της διπλωματικής και προτείνονται ιδέες για μελλοντική της επέκταση.

### ***9.1 Σύνοψη της Εργασίας και Συμπεράσματα***

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάστηκε μία πλήρης μελέτη αξιολόγησης της FEC τεχνικής σε multicast μετάδοση πάνω από τέταρτης γενιάς LTE κινητά δίκτυα. Μελετήθηκε η παροχή της MBMS υπηρεσίας μέσω των μεθόδων μετάδοσης MBSFN και PTM με τη μέτρηση του συνολικού τηλεπικοινωνιακού κόστους που αυτή απαιτείται σε κάθε περίπτωση.

Παρουσιάστηκε μία καινοτόμος ανάλυση του τηλεπικοινωνιακού κόστους για τις MBSFN και PTM τεχνικές μετάδοσης. Αυτή η ανάλυση αφορά τις διάφορες διαδικασίες που επιτελούνται για τη μετάδοση MBMS δεδομένων, τα κόστη μετάδοσης πακέτων πάνω από τις διάφορες διεπαφές ενός LTE δικτύου και το κόστος για τις διαδικασίες ελέγχου και σηματοδότησης.

Η ανάλυση κόστους μας επέτρεψε να πραγματοποιήσουμε μια μελέτη σε ότι αφορά την παροχή αξιόπιστης MBMS υπηρεσίας μέσω των MBSFN και PTM τεχνικών μετάδοσης. Οι προσεγγίσεις διόρθωσης λαθών που εξετάστηκαν περιλαμβάνουν τόσο τεχνικές που έχουν πρωτυποποιηθεί από την 3GPP καθώς και μία προτεινόμενη τεχνική που χρησιμοποιεί αποκλειστικά FEC σύμβολα για τη διόρθωση χαμένων τμημάτων του αρχείου.

Η αξιολόγηση των διαφορετικών τρόπων μετάδοσης, των διαφορετικών διαμορφώσεων της τοπολογίας για την MBSFN λειτουργία και οι προσεγγίσεις για τη

διόρθωση των λαθών που προκαλούνται κατά τη μετάδοση των αρχείων, έχει γίνει με χρήση της μετρικής του τηλεπικοινωνιακού κόστους για την παροχή της MBMS υπηρεσίας.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, διεξήχθησαν πειράματα σε Matlab που οδήγησαν σε μερικά σημαντικά αποτελέσματα που αφορούν την αξιοπιστία multicast δεδομένων με χρήση MBSFN και PTM λειτουργιών. Παρατηρήθηκε ότι το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος συσχετίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό με την διαμόρφωση της τοπολογίας του δικτύου, τον τρόπο μετάδοσης και τη μέθοδο για διόρθωση λαθών που χρησιμοποιείται.

Η ποιοτική ανάλυση που παρουσιάστηκε ορίζει την ανά περίπτωση βέλτιστη τοπολογία δικτύου που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος, βασιζόμενη πάντα στην στη εκάστοτε κατανομή των multicast χρηστών. Αρχικά γίνεται μία εκτίμηση του κόστους ανά περίπτωση σε σχέση με την προσέγγιση διόρθωσης λαθών που χρησιμοποιείται. Όλα τα πειραματικά αποτελέσματα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ο μηχανισμός που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας για τη βελτιστοποίηση του κόστους μετάδοσης, είναι ικανός να παρέχει μία αποδοτική από πλευράς κόστους σύνοδο μετάδοσης δεδομένων και επιτυχή διόρθωση λαθών.

## ***9.2 Ιδέες για Μελλοντικές Επεκτάσεις***

Τέλος, σε αυτή την ενότητα δίνονται ιδέες για επέκταση της διπλωματικής εργασίας. Αυτή η εργασία λοιπόν, έρχεται ένα βήμα πιο κοντά στην προτυποποίηση ενός μηχανισμού που διαμορφώνει τη βέλτιστη επιλογή MBSFN περιοχής σε LTE συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Παράλληλα μελετά εκτενώς τις FEC τεχνικές και προτείνει μία ακόμη για την αποδοτική από πλευράς κόστους μείωση των πόρων που απαιτούνται για τη διόρθωση τμημάτων ενός αρχείου.

Αυτό το πεδίο αναμένεται να προσεγγίσει πολύ έντονα το ενδιαφέρον των επιστημόνων. Είναι πολύ ενδιαφέρον να επεκταθεί ο αλγόριθμος για τη βελτιστοποίηση του κόστους έτσι ώστε να εκτιμάται το κόστος με διαφορετικά είδη παραμέτρων του δικτύου. Επίσης θα είχε ενδιαφέρον να παρουσιαστεί μια πιο θεωρητική μοντελοποίηση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης του κόστους έτσι ώστε να γίνει μια ολοκληρωμένη παρουσίαση του προβλήματος ελαχιστοποίησης του κόστους που απαιτείται για τη διόρθωση λαθών.

Ένα ακόμη μελλοντικό βήμα θα μπορούσε να είναι η ενίσχυση του εργαλείου για τη βελτιστοποίηση του κόστους [12] έτσι ώστε να υποστηρίζει διαφορετικές ιδιότητες κελιού όπως για παράδειγμα διαφορετικά μεγέθη. Αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει στην εφαρμογή του υπάρχοντος αναλυτικού μοντέλου σε πραγματικού τύπου συστήματα έτσι ώστε να προκύψουν και συμπεράσματα για πραγματικά δίκτυα και όχι μόνο για εξομοιώσεις.

Ακόμη, μία άλλη πρόταση για μελλοντική κατεύθυνση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα μπορούσε να είναι η μελέτη της προτεινόμενης μεθόδου για διόρθωση τμημάτων αρχείων και η μοντελοποίηση – υλοποίηση ενός μηχανισμού που να κάνει μία αποδοτική επιλογή Raptor κώδικα για 4<sup>ης</sup> γενιάς LTE δίκτυα. Αυτός ο μηχανισμός θα μπορούσε να ελέγχει τις συνθήκες του δικτύου και να τις χρησιμοποιεί σαν είσοδο έτσι ώστε να αποφασίζει για την κατάλληλη ποσότητα των επιπρόσθετων συμβόλων για την FEC κωδικοποίηση.

# Παράρτημα Ι:

## Σχετικές Δημοσιεύσεις της Συγγραφέως

### Κεφάλαια σε Βιβλία

---

✚ **Forward Error Correction for Reliable e-MBMS Transmissions in LTE Networks**

*Cellular Networks, INTECH, 2011*, C. Bouras, V. Kokkinos, A. Papazois, G. Tseliou, 2011, pp. 353 – 374

*Περίληψη:* Σε αυτή την εργασία γίνεται μια πρωταρχική μελέτη των *Forward Error Correction (FEC)* τεχνικών για την *Multimedia Broadcast / Multicast Service over a Single Frequency Network (MBSFN)* μετάδοση στα *Long Term Evolution (LTE)* δίκτυα. Αρχικά γίνεται ο ορισμός ενός μοντέλου υπολογισμού του συνολικού τηλεπικοινωνιακού κόστους που εισάγεται για τη μετάδοση *MBSFN* δεδομένων στους χρήστες. Προτείνεται ένας μηχανισμός που χρησιμοποιεί αποκλειστικά *raptor* κώδικες για τη διόρθωση λαθών σε πακέτα που έχουν γίνει *download* με χρήση της *MBMS* υπηρεσίας. Αυτός ο μηχανισμός λαμβάνει υπόψη τις ωφέλιμες ιδιότητες της *MBSFN* μετάδοσης και δημιουργεί ένα πλήθος επιπρόσθετων συμβόλων για να γίνει η διόρθωση λαθών στα αρχεία που το απαιτούν. Τα σύμβολα λαμβάνονται έως ότου όλοι οι χρήστες που συμμετέχουν στη σύνοδο να στείλουν μήνυμα ότι τους αρκούν για να διορθώσουν τα λάθη που προέκυψαν κατά το *download* του αρχείου. Επίσης

μελετάται η απόδοση όλων των FEC μηχανισμών σε σχέση με τη διαμόρφωση του δικτύου, το συνολικό πληθυσμό των χρηστών που λαμβάνει μέρος στη σύνοδο και το συνολικό ποσοστό λαθών. Τέλος αξιολογείται το κατά πόσο η χρήση FEC κωδίκων είναι ωφέλιμη για το δίκτυο και σε ποιο σημείο αρχίζουν και επιβαρύνονται οι πόροι του δικτύου καθώς και ποιες παράμετροι επηρεάζουν την όλη διαδικασία.

## Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Περιοδικά

---

### **Cost Optimization of MBSFN and PTM Transmissions for Reliable Multicasting in LTE Networks**

*Wireless Networks*, Springer Verlag, A. Alexiou, K. Asimakis, C. Bouras, V. Kokkinos, A. Papazois, **G. Tseliou**, 2012, 277-293

**Περίληψη:** Τα Long Term Evolution (LTE) συστήματα έχουν ως σκοπό τη υψηλή επίδοση ασύρματων συσκευών επικοινωνίας. Η υπηρεσία για μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων που χρησιμοποιείται σε αυτά τα συστήματα ονομάζεται evolved Multimedia Broadcast / Multicast Service (e-MBMS) και εισήχθη από τον οργανισμό 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Αυτή η υπηρεσία έχει νέα χαρακτηριστικά σε σχέση με την προγενέστερη της (MBMS) που χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα κινητών δικτύων για να εξυπηρετεί multicast χρήστες που ενδιαφέρονται στη λήψη μιας υπηρεσίας. Είναι πολύ σημαντικό να μπορούν να μεταδίδονται δεδομένα μέσω της υπηρεσίας αυτής με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση πόρων του δικτύου. Σε αυτή την ερευνητική εργασία ερευνάται ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί κάτι τέτοιο με τη χρήση Forward Error Correction (FEC) μηχανισμών. Οι κύριοι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται είναι αυτοί που έχουν προτυποποιηθεί από τον οργανισμό 3GPP. Σε αυτή την εργασία μελετώνται όλες οι ήδη υπάρχουσες μέθοδοι και προτείνεται και ένας νέος μηχανισμός που χρησιμοποιεί FEC σύμβολα με τον πιο ωφέλιμο τρόπο. Διεξάγονται πειράματα για όλες τις μεθόδους και συγκρίνονται με την προτεινόμενη με βάση διάφορες παραμέτρους του δικτύου. Τα πειραματικά αποτελέσματα γίνονται με χρήση ενός νέου εργαλείου εξομοίωσης και δείχνουν ότι η απόδοση του προτεινόμενου

μηχανισμού για συγκεκριμένη τιμή διάφορων παραμέτρων του δικτύου είναι καλύτερη σε σχέση με τις αποδόσεις των προτυποποιημένων μεθόδων.

## Δημοσιεύσεις σε Συνέδρια

---

### **Optimization of Fractional Frequency Reuse in Long Term Evolution Networks**

2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2012), Paris, France, D. Bilios, C. Bouras, V. Kokkinos, A. Papazois, G. Tseliou, 1-4 April 2012, 1875-1879

**Περίληψη:** Στα κυψελωτά συστήματα, η χρήση τεχνικών Fractional Frequency Reuse (FFR) έχει ως στόχο να χωρίσει μία κυψέλη σε δύο περιοχές: την εσωτερική και την εξωτερική περιοχή. Στη συνέχεια δεσμεύεται διαφορετική ζώνη συχνοτήτων για να χρησιμοποιεί η κάθε περιοχή. Μιας και οι χρήστες της εσωτερικής περιοχής είναι λιγότερο εκτεθειμένοι σε φαινόμενα όπως η *inter-cell interference*, οι συχνότητες σε κάθε εσωτερική περιοχή μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Οι τεχνικές FFR βασίζονται σε αυτό και έχουν ως στόχο τη μείωση της παρεμβολής που προκαλείται από το κανάλι επικοινωνίας και τη μεγαλύτερη χωρητικότητα καναλιού. Σε αυτή την ερευνητική εργασία προτείνεται ένας μηχανισμός που επιλέγει τη βέλτιστη μέθοδο FFR. Η επιλογή βασίζεται στη ρυθμοαπόδοση του κάθε χρήστη καθώς και σε μία νέα μετρική που ορίζεται στην εργασία που ονομάζεται *user satisfaction*. Ο μηχανισμός επιλέγει το βέλτιστο μέγεθος της εσωτερικής και της εξωτερικής περιοχής για την κάθε κυψέλη της τοπολογίας καθώς και τη βέλτιστη ανάθεση συχνότητας μεταξύ των δύο αυτών περιοχών, που είτε μεγιστοποιεί τη ρυθμοαπόδοση κάθε χρήστη είτε τη μετρική *user satisfaction*. Ο μηχανισμός αξιολογείται μέσα από πλήθος πειραμάτων.

## **Reliable Multicasting over LTE: A Performance Study**

*16th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2011), Kerkyra, Greece, A. Alexiou, K. Asimakis, C. Bouras, V. Kokkinos, A. Papazois, G. Tseliou, June 28 - July 1 2011, pp. 603 – 608*

**Περίληψη:** Ο οργανισμός 3rd Generation Partnership Project (3GPP) εισήγαγε την τεχνολογία Evolved-Multimedia Broadcast and Multicast Service (e-MBMS) για τα Long Term Evolution (LTE) συστήματα. Στη λειτουργία MBMS over Single Frequency Network (MBSFN) τα δεδομένα μεταδίδονται ταυτόχρονα στην ασύρματη διεπαφή από πολλαπλά, αυστηρώς συγχρονισμένα κελιά. Για να επιτύχει e-MBMS μεταδόσεις δίχως σφάλματα, ο οργανισμός 3GPP προσφέρει ένα μηχανισμό Forward Error Correction (FEC) για να τις προστατεύσει και μια πρόσθετη διαδικασία αποκατάστασης αρχείων στο τέλος των μεταδόσεων. Οι κώδικες Raptor έχουν προτυποποιηθεί ως η κύρια μέθοδος FEC επιπέδου εφαρμογής για την τεχνολογία e-MBMS λόγω της γενικής απόδοσής τους. Σε αυτή την εργασία, εξετάζουμε την εφαρμογή του FEC σε δίκτυα LTE που υποστηρίζουν την τεχνολογία MBSFN και προτείνουμε μία νέα μέθοδο που λαμβάνει υπόψη τις ιδιότητες του MBSFN προκειμένου να εξασφαλίζεται η αποδοτικότερη λειτουργία του FEC κατά τη διάρκεια των e-MBMS μεταδόσεων. Η προτεινόμενη μέθοδος συγκρίνεται με άλλες μεθόδους αποκατάστασης αρχείων και αξιολογείται για διάφορες παραμέτρους.

## **Συνδυάζοντας το e-MBMS και το FEC για Αξιοπίστο Multicasting σε Δίκτυα LTE**

4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φοιτητών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών (ΣΦΗΜΜΥ 4), Α. Αλεξίου, Χ. Μπούρας, Β. Κόκκινος, Α. Παπαζώης, **Γ. Τσέλιου**, 19-20 Νοεμβρίου 2010

**Περίληψη:** Σε αυτή την εργασία γίνεται μελέτη διάφορων τρόπων διόρθωσης λαθών σε πακέτα που μεταδίδονται πάνω από κινητά δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς, τύπου Long Term Evolution (LTE) στον κατερχόμενο σύνδεσμο (download). Μελετώνται διάφορες τεχνικές Forward Error Correction (FEC) και προτείνεται ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιεί τις ιδανικές ιδιότητες των raptor

κωδίκων για διόρθωση λαθών. Γίνεται εξομοίωση ενός δικτύου που εφαρμόζει όλες τις τεχνικές που περιγράφονται και τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν την απόδοση που έχει η κάθε τεχνική.

#### **Optimizing the Combination of MBSFN and PTM Transmissions in LTE Systems**

*Tenth Annual Wireless Telecommunications Symposium (WTS 2011), New York, USA, A. Alexiou, C. Bouras, V. Kokkinos, A. Papazois, G. Tseliou, April 13-15 2011*

**Περίληψη:** Σε αυτή την εργασία ερευνάται η παροχή της *evolved Multimedia Broadcast/Multicast Service (e-MBMS)* υπηρεσίας μέσω του *Point-to-Multipoint (PTM)* τρόπου μετάδοσης καθώς και μέσω του *MBMS over a Single Frequency Network (MBSFN)*. Η λειτουργία *MBSFN* είναι ένας νέος τρόπος μετάδοσης που προσφέρεται από *Long Term Evolution (LTE)* συστήματα. Σε αυτό τον τρόπο μετάδοσης δεδομένων μια συγχρονισμένη κυματομορφή μεταδίδεται από πολλές κυψέλες ταυτόχρονα. Στην εργασία γίνεται μια διερεύνηση της παροχής της *MBMS* υπηρεσίας μέσω του συνδυασμού των *MBSFN* και *PTM* μεθόδων. Ταυτόχρονα, γίνεται μία λεπτομερής ανάλυση κόστους για τις δύο μεθόδους μετάδοσης σε ότι αφορά τα κόστη που εισάγει η κάθε μία σύμφωνα με τις διεπαφές και τους κόμβους της *LTE* αρχιτεκτονικής. Έτσι μελετώνται οι συνδυασμοί των τεχνικών και διεξάγονται πειράματα για τη σύγκριση όλων των μεθόδων καθώς και γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

#### **Enhancing FEC Application in LTE Cellular Networks**

*IFIP Wireless Days 2010, Venice, Italy, A. Alexiou, C. Bouras, V. Kokkinos, A. Papazois, G. Tseliou, October 20 - 22 2010*

**Περίληψη:** Ο οργανισμός *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* που ασχολείται με την προτυποποίηση των *Long Term Evolution (LTE)* συστημάτων επικεντρώνεται στο να ενισχύσει την *Universal Terrestrial Radio Access (UTRA)*. Η υπηρεσία *Evolved-Multimedia Broadcast and Multicast Service (e-*



*MBMS) στα LTE δίκτυα κάνει χρήση της λειτουργίας Single Frequency Network (MBSFN) για να βελτιώσει την απόδοση της. Στην MBSFN λειτουργία τα δεδομένα μεταδίδονται ταυτόχρονα πάνω από την ασύρματη διεπαφή από συγχρονισμένες κυψέλες. Οι Raptor κώδικες έχουν προτυποποιηθεί ως η κύρια τεχνική για τις μεθόδους Forward Error Correction (FEC) σε επίπεδο εφαρμογής. Αυτό οφείλεται στο υψηλό επίπεδο προστασίας από λάθη που παρέχουν καθώς και στη συνολική τους απόδοση μέσα στο δίκτυο. Σε αυτή την εργασία γίνεται μελέτη της εφαρμογής FEC κωδίκων σε ένα περιβάλλον LTE που χρησιμοποιεί την MBSFN λειτουργία. Προτείνεται ένας νέος μηχανισμός που συγκρίνεται και με άλλους τρόπους διόρθωσης λαθών στο επίπεδο εφαρμογής LTE δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς. Τα πειράματα διεξάγονται σε εξομοιωτή που προσομοιώνει ένα ρεαλιστικό περιβάλλον.*

# *Παράρτημα II:*

## *Ετεροαναφορές Σχετικών Δημοσιεύσεων*

**"Forward Error Correction for Reliable e – MBMS Transmissions in LTE Networks",**

**A. Alexiou, C. Bouras, V. Kokkinos, A. Papazois, G. Tseliou, Cellular Networks, INTECH, 2011, Chapter 15, pp. 353 - 374**

*Παράθεση από:*

- ✚ Joint Delivery of Unicast and E-MBMS Services in LTE Networks, Monserrat, J. F., Calabuig, J., Fernandez-Aguilella, A., Gomez- Barquero, D., IEEE Transactions on Broadcasting, Volume: 58, Issue: 2, pp. 157 - 167, June 2012

# *Παράρτημα III:*

## *Βιβλιογραφία*

- [1] Introduction to 3G Mobile Communications, J. Korhonen, Artech House 2003.
- [2] Convergence Technologies for 3G Networks, IP, UMTS, EGPRS and ATM, J. Bannister, P. Mather, S. Coope, Wiley 2005.
- [3] Sesia, S., Toufik, I., and Baker, M. LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley & Sons. 2009.
- [4] 3GPP TS 26.346. Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Protocols and codecs. Version 9.1.0. 2009.
- [5] 3GPP TSG-RAN WG1#28, R1-021224. Power allocation for MBMS. 2002.
- [6] T. Lohmar, P. Zhaoyi, and P. Mahonen, “Performance evaluation of a file repair procedure based on a combination of MBMS and unicast bearers,” in Proceedings of International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM '06), pp. 349–357, Niagara Falls, NY, USA, June 2006.
- [7] T. Lohmar and M. Elisova, “Evaluation of the file repair operations for multicast/broadcast download deliveries,” in Proceedings of European Wireless Conference, Nicosia, Cyprus, April 2005.

- [8] 3GPP TS 23.246. Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description. Version 9.3.0. 2009.
- [9] Luby, M., Vicisano, L., Gemmell, J., Rizzo, L., Handley, M., Crowcroft, J. Forward error correction (FEC) building block. RFC 3452. 2002.
- [10] Luby, M., Vicisano, L., Gemmell, J., Rizzo, L., Handley, M., Crowcroft, J. The use of forward error correction in reliable multicast. IETF RFC 3453. 2002.
- [11] 3GPP TS 36.300, V9.1.0. “Technical Specification Group Radio Access Network; E-UTRA and E-UTRAN; Overall description; Stage 2 (Release 9)”, 2009.
- [12] MBSFN / PTM Cost Estimation Tool. Available at the following URL: [http://ru6.cti.gr/ru6/MBSFN\\_exe.zip](http://ru6.cti.gr/ru6/MBSFN_exe.zip).
- [13] Luby M., Watson M., Gasiba T., Stockhammer T., and Xu W., “Raptor codes for reliable download delivery in wireless broadcast systems”, in Proc. CCNC 2006, pp. 192-197.
- [14] Luby M., Gasiba T., Stockhammer T. and Watson M., “Reliable Multimedia Download Delivery in Cellular Broadcast Networks”, IEEE Trans. on Broadcasting, 53 (2), 2007, pp. 235-246.
- [15] N. Wang, and Z. Zhang, “The impact of application layer Raptor FEC on the coverage of MBMS”, in Proc.of the 2008 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS 2008), pp. 223–226, Orlando, FL, USA, 2008.
- [16] A. Alexiou, C. Bouras, and A. Papazois, “The Impact of FEC on Mobile Multicast Power Control”, in Proc. of the 6th Advanced International Conference on Telecommunications (AICT 2010), Barcelona, Spain, 2010.
- [17] A. Alexiou, C. Bouras, A. Papazois, V. Kokkinos, and G.Tseliou, “Optimizing the Combination of MBSFN and PTM Transmissions in LTE Systems”, in Proc. of Wireless Telecommunications Symposium (WTS 2011), New York City, New York USA, 2011.
- [18] A. Alexiou, C. Bouras, V. Kokkinos and G. Tschirntzis “Communication Cost Analysis of MBSFN in LTE”, in Proc. of the 21th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'10), Istanbul, Turkey, 2010.

- [19] A. Alexiou, C. Bouras,, V. Kokkinos, A. Papazois, and G. Tschritzis, “Adopting FEC for Reliable Multicasting over LTE Networks”, in Proc. of The 13-th ACM International Conference on Modelling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, (MSWiM 2010), Bodrum, Turkey, 2010.
- [20] 3GPP TS 22.246. Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) user services; Stage 1. Version 9.0.0. 2009.
- [21] Holma H, Toskala A. “LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access”, JohnWiley & Sons: Chichester, 2009. ISBN 9780470994016.
- [22] 3GPP TS 36.201, V8.3.0. “Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); LTE Physical Layer - General Description (Release 8)”, 2009.
- [23] 3GPP TSG SA WG4 S4-AHP205, “Specification Text for Systematic Raptor Forward Error Correction”, 2005.
- [24] Rummler R, Chung Y, Aghvami H. “Modeling and Analysis of an Efficient Multicast Mechanism for UMTS”, IEEE Transactions on Vehicular Technology; 54(1), pp. 350-365, 2005.
- [25] Ho J, Akyildiz I. Local anchor scheme for reducing signaling costs in personal communications networks. IEEE/ACM Transactions on Networking 1996; 4(5): 709–725.
- [26] 3GPP TS 23.246 V9.0.0, “Technical Specification Group Services and System Aspects; MBMS; Architecture and functional description (Release 9)”, 2008.
- [27] L. Rong, O. Haddada, and S. Elayoubi, “Analytical Analysis of the Coverage of a MBSFN OFDMA Network”, in Proc. of IEEE GLOBAL COMMUNICATIONS CONFERENCE (GLOBECOM 2008), 2008.
- [28] 3GPP TSG RAN WG1 R1-070051, “Performance of MBMS Transmission Configurations”, 2007.
- [29] 3GPP R2-062271, “Layer 1 signalling based user detection for LTE MBMS”, 2006.
- [30] 3GPP TS 26.346 V7.8.0, “Technical Specification Group Services and System Aspects; MBMS; Protocols and codecs (Release 7)”, 2008.

# *Παράρτημα IV:*

## *Ακρώνυμα*

| <b>ΑΚΡΩΝΥΜΟ</b> | <b>ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ</b>                                 |
|-----------------|--|
| <b>LTE</b>      | Long Term Evolution                              |
| <b>e-MBMS</b>   | Evolved Multimedia Broadcast / Multicast Service |
| <b>MBMS</b>     | Multimedia Broadcast / Multicast Service         |
| <b>3GPP</b>     | 3rd Generation Partnership Project               |
| <b>MBSFN</b>    | MBMS over a Single Frequency Network             |
| <b>FEC</b>      | Forward Error Correction                         |
| <b>FDMA</b>     | Frequency Division Multiply Access               |
| <b>TACS</b>     | Total Access Communication System                |
| <b>NMT</b>      | Nordic Mobile Telephone                          |
| <b>AMPS</b>     | Advanced Mobile Phone Service                    |

|                |   |
|----------------|---|
| <b>GSM</b>     | Global System for Mobile                        |
| <b>D-AMPS</b>  | Digital Advanced Mobile Phone Service           |
| <b>PDC</b>     | Personal Digital Cellular                       |
| <b>CDMA</b>    | Code Division Multiple Access                   |
| <b>HSCSD</b>   | High- Speed Circuit-Switched Data               |
| <b>GPRS</b>    | General Packet Radio Services                   |
| <b>EDGE</b>    | Enhanced Data rates for Global Evolution        |
| <b>ETSI</b>    | European Telecommunications Standards Institute |
| <b>UMTS</b>    | Universal Mobile Telecommunications System      |
| <b>HSDPA</b>   | High Speed Downlink Packet Access               |
| <b>DCH</b>     | Dedicated Channel                               |
| <b>DSCH</b>    | Downlink Shared Channel                         |
| <b>HS-DSCH</b> | High-Speed Downlink Shared Channel              |
| <b>OFDM</b>    | Orthogonal Frequency Division Multiplexing      |
| <b>OFDMA</b>   | Orthogonal Frequency Division Multiple Access   |
| <b>FDD</b>     | Frequency Division Duplexing                    |
| <b>TDD</b>     | Time Division Duplexing                         |
| <b>HSUPA</b>   | High Speed Uplink Packet Access                 |

|                |  |
|----------------|--|
| <b>UTRAN</b>   | Universal Terrestrial Radio Access Network         |
| <b>GERAN</b>   | Radio Access Network                               |
| <b>FFT</b>     | Fast Fourier Transform                             |
| <b>SC-OFDM</b> | Single Carrier OFDM                                |
| <b>WiMAX</b>   | Worldwide Interoperability for Microwave Access    |
| <b>PAR</b>     | Peak-to-Average Ratio                              |
| <b>MIMO</b>    | Multiple Input-Multiple Output                     |
| <b>ARQ</b>     | Automatic Repeat re-Quest                          |
| <b>UE</b>      | User Equipment                                     |
| <b>UDP</b>     | User Datagram Protocol                             |
| <b>PTM</b>     | Point to Multipoint                                |
| <b>ISI</b>     | Inter-Symbol Παρεμβολή                             |
| <b>SFN</b>     | Single Frequency Network                           |
| <b>PTP</b>     | Point to Point                                     |
| <b>e-UTRAN</b> | Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network |
| <b>NBs</b>     | Node Bs  |
| <b>e-BM-SC</b> | Evolved - Broadcast / Multicast Service Center     |
| <b>MCE</b>     | Multicell / Multicast Coordination                 |



|                  |                            |
|------------------|----------------------------|
| <b>e-MBMS GW</b> | E-MBMS Gateway             |
| <b>MME</b>       | Mobility Management Entity |
| <b>MTCH</b>      | Multicast Traffic Channel  |
| <b>MCCH</b>      | Multicast Control Channel  |
| <b>MCH</b>       | Multicast Channel          |
| <b>MAC</b>       | Medium Access Control      |
| <b>CP</b>        | Cyclic Prefix              |

# *Παράρτημα V:*

## *Κώδικας υλοποίησης*

Στο παρόν παράρτημα δίνονται οι κυριότερες συναρτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση των αλγορίθμων για την εκτίμηση κόστους για διάφορες προσεγγίσεις διόρθωσης λαθών και διαμορφώσεις της τοπολογίας ενός LTE δικτύου καθώς για τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Οι αντίστοιχοι αλγόριθμοι παρουσιάστηκαν με ψευδοκώδικα στην ενότητα 7.

Οι συναρτήσεις που δίνονται είναι υλοποιημένες είτε σε Lua (<http://www.lua.org/>) είτε σε Matlab (<http://www.mathworks.com/products/matlab/>) ανάλογα με το πείραμα που υλοποιούν. Οι γραφικές παραστάσεις της διπλωματικής εργασίας έχουν προκύψει από χρήση Matlab.

## *Υπολογισμός κόστους για κάθε προσέγγιση διόρθωσης λαθών και για την αντίστοιχη διαμόρφωση δικτύου*

Ο κώδικας αυτός είναι τμήμα της εξομοίωσης σε Matlab που αφορά την ανάλυση του κόστους σε ένα LTE δίκτυο. Εδώ φαίνονται οι τρεις προσεγγίσεις διόρθωσης λαθών για ένα αρχείο που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 7. Για κάθε μία προσέγγιση και για κάθε τοπολογία (από αυτές που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 6.1) υπολογίζεται το κόστος για διόρθωση λαθών και προστίθεται στο συνολικό κόστος μετάδοσης. Παρακάτω δίνεται ο κώδικας που εφαρμόστηκε για την περίπτωση της σύγκρισης κόστους έναντι της απώλειας πακέτων (packet loss). Το αποτέλεσμα δίνεται στην

ενότητα 8.2.2). Για τις παραμέτρους «αριθμός multicast χρηστών» και «FEC επιβάρυνση» ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία.

```

for i=1:el_p_loss_3,
    % Retransmission percentage with FEC
    packet_retran_overhead_FEC(i) = f_LTE_packets_vs_ploss(
p_loss_3(i), no_of_receivers_3, overhead_3 ) + overhead_3;
    % Retransmission percentage with MBSFM
    packet_retran_overhead(i) = f_LTE_packets_vs_ploss(
p_loss_3(i), no_of_receivers_3, overhead_3_no_FEC ) + overhead_3_no_FEC;
    % FEC overhead percentage
    fec_overhead_percentage(i) = f_o_p( pf_3, Np_max,
p_loss_3(i));

    %%% Cost of M1 interface %%%
    % Without FEC
    D_M1_AII(i) =
Np_max*D_P_M1*N_drop(ring+1)*(1+0.01*packet_retran_overhead(i));
    D_M1_AAI(i) =
Np_max*D_P_M1*N_drop(ring+2)*(1+0.01*packet_retran_overhead(i));
    D_M1_AAA(i) =
Np_max*D_P_M1*N_drop(ring+3)*(1+0.01*packet_retran_overhead(i));
    % With FEC
    D_M1_AII_FEC(i) =
Np_max*D_P_M1*N_drop(ring+1)*(1+0.01*packet_retran_overhead_FEC(i));
    D_M1_AAI_FEC(i) =
Np_max*D_P_M1*N_drop(ring+2)*(1+0.01*packet_retran_overhead_FEC(i));
    D_M1_AAA_FEC(i) =
Np_max*D_P_M1*N_drop(ring+3)*(1+0.01*packet_retran_overhead_FEC(i));
    % FEC_Solo
    D_M1_AII_FEC_Solo(i) =
Np_max*(1+0.01*fec_overhead_percentage(i))*D_P_M1*N_drop(ring+1);
    D_M1_AAI_FEC_Solo(i) =
Np_max*(1+0.01*fec_overhead_percentage(i))*D_P_M1*N_drop(ring+2);
    D_M1_AAA_FEC_Solo(i) =
Np_max*(1+0.01*fec_overhead_percentage(i))*D_P_M1*N_drop(ring+3);

    %%% Cost of synchronization %%%
    % Without FEC
    P_EBM_SC_AII(i) = (D_M1_AII(i)/Np_burst);
    P_EBM_SC_AAI(i) = (D_M1_AAI(i)/Np_burst);
    P_EBM_SC_AAA(i) = (D_M1_AAA(i)/Np_burst);
    % With FEC
    P_EBM_SC_AII_FEC(i) = (D_M1_AII_FEC(i)/Np_burst);
    P_EBM_SC_AAI_FEC(i) = (D_M1_AAI_FEC(i)/Np_burst);
    P_EBM_SC_AAA_FEC(i) = (D_M1_AAA_FEC(i)/Np_burst);
    % FEC_Solo
    P_EBM_SC_AII_FEC_Solo(i) = (D_M1_AII_FEC_Solo(i)/Np_burst);
    P_EBM_SC_AAI_FEC_Solo(i) = (D_M1_AAI_FEC_Solo(i)/Np_burst);
    P_EBM_SC_AAA_FEC_Solo(i) = (D_M1_AAA_FEC_Solo(i)/Np_burst);

    %%% Cost of polling over M2 %%%
    % Without FEC
    polling_AII_M2(i)=D_P_M2*N_drop(ring+1);
    polling_AAI_M2(i)=D_P_M2*N_drop(ring+2);
    polling_AAA_M2(i)=D_P_M2*N_drop(ring+3);
    % With FEC
    polling_AII_M2_FEC(i)=D_P_M2*N_drop(ring+1);
    polling_AAI_M2_FEC(i)=D_P_M2*N_drop(ring+2);
    polling_AAA_M2_FEC(i)=D_P_M2*N_drop(ring+3);
    % FEC_Solo
    polling_AII_M2_FEC_Solo(i)=D_P_M2*N_drop(ring+1);
    polling_AAI_M2_FEC_Solo(i)=D_P_M2*N_drop(ring+2);
    polling_AAA_M2_FEC_Solo(i)=D_P_M2*N_drop(ring+3);

    %%% Cost of polling over AIR %%%

```

```

% Without FEC
polling_AII_air(i)=air(ring,1)/100;
polling_AAI_air(i)=air(ring,2)/100;
polling_AAA_air(i)=air(ring,3)/100;
% With FEC
polling_AII_air_FEC(i)=air(ring,1)/100;
polling_AAI_air_FEC(i)=air(ring,2)/100;
polling_AAA_air_FEC(i)=air(ring,3)/100;
% FEC_Solo
polling_AII_air_FEC_Solo(i)=air(ring,1)/100;
polling_AAI_air_FEC_Solo(i)=air(ring,2)/100;
polling_AAA_air_FEC_Solo(i)=air(ring,3)/100;

%%% Total cost over air %%%
% Without FEC
total_cost_air_AII(i) =
air(ring,1)*N_drop(ring)*Np_max*(1+0.01*packet_retran_overhead(i));
total_cost_air_AAI(i) =
air(ring,2)*N_drop(ring)*Np_max*(1+0.01*packet_retran_overhead(i));
total_cost_air_AAA(i) =
air(ring,3)*N_drop(ring)*Np_max*(1+0.01*packet_retran_overhead(i));
% With FEC
total_cost_air_AII_FEC(i) =
air(ring,1)*N_drop(ring)*Np_max*(1+0.01*packet_retran_overhead_FEC(i));
total_cost_air_AAI_FEC(i) =
air(ring,2)*N_drop(ring)*Np_max*(1+0.01*packet_retran_overhead_FEC(i));
total_cost_air_AAA_FEC(i) =
air(ring,3)*N_drop(ring)*Np_max*(1+0.01*packet_retran_overhead_FEC(i));
% FEC_Solo
total_cost_air_AII_FEC_Solo(i) = air(ring,1)*N_drop(ring)*
Np_max*(1+0.01*fec_overhead_percentage(i));
total_cost_air_AAI_FEC_Solo(i) = air(ring,2)*N_drop(ring)*
Np_max*(1+0.01*fec_overhead_percentage(i));
total_cost_air_AAA_FEC_Solo(i) = air(ring,3)*N_drop(ring)*
Np_max*(1+0.01*fec_overhead_percentage(i));

%%% Total cost over core network %%%
% Without FEC
total_cost_core_AII(i) = D_M1_AII(i)+
P_EBM_SC_AII(i)+polling_AII_M2(i)+polling_AII_air(i);
total_cost_core_AAI(i) = D_M1_AAI(i)+
P_EBM_SC_AAI(i)+polling_AAI_M2(i)+polling_AAI_air(i);
total_cost_core_AAA(i) = D_M1_AAA(i)+
P_EBM_SC_AAA(i)+polling_AAA_M2(i)+polling_AAA_air(i);
% With FEC
total_cost_core_AII_FEC(i) = D_M1_AII_FEC(i)+
P_EBM_SC_AII_FEC(i)+polling_AII_M2_FEC(i)+polling_AII_air_FEC(i);
total_cost_core_AAI_FEC(i) = D_M1_AAI_FEC(i)+
P_EBM_SC_AAI_FEC(i)+polling_AAI_M2_FEC(i)+polling_AAI_air_FEC(i);
total_cost_core_AAA_FEC(i) = D_M1_AAA_FEC(i)+
P_EBM_SC_AAA_FEC(i)+polling_AAA_M2_FEC(i)+polling_AAA_air_FEC(i);
% FEC_Solo
total_cost_core_AII_FEC_Solo(i) = D_M1_AII_FEC_Solo(i)+
P_EBM_SC_AII_FEC_Solo(i)+polling_AII_M2_FEC_Solo(i)+polling_AII_air_FEC_Sol
o(i);
total_cost_core_AAI_FEC_Solo(i) = D_M1_AAI_FEC_Solo(i)+
P_EBM_SC_AAI_FEC_Solo(i)+polling_AAI_M2_FEC_Solo(i)+polling_AAI_air_FEC_Sol
o(i);
total_cost_core_AAA_FEC_Solo(i) = D_M1_AAA_FEC_Solo(i)+
P_EBM_SC_AAA_FEC_Solo(i)+polling_AAA_M2_FEC_Solo(i)+polling_AAA_air_FEC_Sol
o(i);

%%%total cost fot ptm - only air and core - no synchronization
cost_ptm_core(i)=D_M1_AAA(i)+polling_AAA_M2(i)+polling_AAA_air(i);
cost_ptm_FEC_core(i)=D_M1_AAA_FEC(i)+polling_AAA_M2_FEC(i)+polling_AAA_air_
FEC(i);

```

```

cost_ptm_FEC_Solo_core(i)=D_M1_AAA_FEC_Solo(i)+polling_AAA_M2_FEC_Solo(i)+p
olling_AAA_air_FEC_Solo(i);

        cost_ptm_air(i) =
air(ring,1)*N_drop(ring)*Np_max*(1+0.01*packet_retran_overhead(i));
        cost_ptm_FEC_air(i) =
air(ring,1)*N_drop(ring)*Np_max*(1+0.01*packet_retran_overhead_FEC(i));
        cost_ptm_FEC_Solo_air(i) = air(ring,1)*N_drop(ring)*
Np_max*(1+0.01*fec_overhead_percentage(i));

    end

    %maximum value of cost over core network
    core_max = max([max(total_cost_core_AII) max(total_cost_core_AAI)
max(total_cost_core_AAA) max(total_cost_core_AII_FEC)
max(total_cost_core_AAI_FEC) max(total_cost_core_AAA_FEC)
max(total_cost_core_AII_FEC_Solo) max(total_cost_core_AAI_FEC_Solo)
max(total_cost_core_AAA_FEC_Solo)]);
    %maximum value of cost over air
    air_max = max([max(total_cost_air_AII) max(total_cost_air_AAI)
max(total_cost_air_AAA) max(total_cost_air_AII_FEC)
max(total_cost_air_AAI_FEC) max(total_cost_air_AAA_FEC)
max(total_cost_air_AII_FEC_Solo) max(total_cost_air_AAI_FEC_Solo)
max(total_cost_air_AAA_FEC_Solo)]);

    for i=1:el_p_loss_3,
        % Without FEC

air_percentage_cost_AII(i)=(air_perc*total_cost_air_AII(i))/air_max;

air_percentage_cost_AAI(i)=(air_perc*total_cost_air_AAI(i))/air_max;

air_percentage_cost_AAA(i)=(air_perc*total_cost_air_AAA(i))/air_max;
        air_percentage_cost_ptm(i)=(air_perc*cost_ptm_air(i))/air_max;

core_percentage_cost_AII(i)=(core_perc*total_cost_core_AII(i))/core_max;

core_percentage_cost_AAI(i)=(core_perc*total_cost_core_AAI(i))/core_max;

core_percentage_cost_AAA(i)=(core_perc*total_cost_core_AAA(i))/core_max;

core_percentage_cost_ptm(i)=(core_perc*cost_ptm_core(i))/core_max;

        total_cost_AII(i) =
air_percentage_cost_AII(i)+core_percentage_cost_AII(i);
        total_cost_AAI(i) =
air_percentage_cost_AAI(i)+core_percentage_cost_AAI(i);
        total_cost_AAA(i) =
air_percentage_cost_AAA(i)+core_percentage_cost_AAA(i);
        total_cost_ptm(i) =
air_percentage_cost_ptm(i)+core_percentage_cost_ptm(i);

        % With FEC

air_percentage_cost_AII_FEC(i)=(air_perc*total_cost_air_AII_FEC(i))/air_max
;

air_percentage_cost_AAI_FEC(i)=(air_perc*total_cost_air_AAI_FEC(i))/air_max
;

air_percentage_cost_AAA_FEC(i)=(air_perc*total_cost_air_AAA_FEC(i))/air_max
;

air_percentage_cost_ptm_FEC(i)=(air_perc*cost_ptm_FEC_air(i))/air_max;

```

```

core_percentage_cost_AII_FEC(i)=(core_perc*total_cost_core_AII_FEC(i))/core_max;

core_percentage_cost_AAI_FEC(i)=(core_perc*total_cost_core_AAI_FEC(i))/core_max;

core_percentage_cost_AAA_FEC(i)=(core_perc*total_cost_core_AAA_FEC(i))/core_max;

core_percentage_cost_ptm_FEC(i)=(core_perc*cost_ptm_FEC_core(i))/core_max;

        total_cost_AII_FEC(i) =
air_percentage_cost_AII_FEC(i)+core_percentage_cost_AII_FEC(i);
        total_cost_AAI_FEC(i) =
air_percentage_cost_AAI_FEC(i)+core_percentage_cost_AAI_FEC(i);
        total_cost_AAA_FEC(i) =
air_percentage_cost_AAA_FEC(i)+core_percentage_cost_AAA_FEC(i);
        total_cost_ptm_FEC(i) =
air_percentage_cost_ptm_FEC(i)+core_percentage_cost_ptm_FEC(i);

        %FEC Solo

air_percentage_cost_AII_FEC_Solo(i)=(air_perc*total_cost_air_AII_FEC_Solo(i))/air_max;

air_percentage_cost_AAI_FEC_Solo(i)=(air_perc*total_cost_air_AAI_FEC_Solo(i))/air_max;

air_percentage_cost_AAA_FEC_Solo(i)=(air_perc*total_cost_air_AAA_FEC_Solo(i))/air_max;

air_percentage_cost_ptm_FEC_Solo(i)=(air_perc*cost_ptm_FEC_Solo_air(i))/air_max;

core_percentage_cost_AII_FEC_Solo(i)=(core_perc*total_cost_core_AII_FEC_Solo(i))/core_max;

core_percentage_cost_AAI_FEC_Solo(i)=(core_perc*total_cost_core_AAI_FEC_Solo(i))/core_max;

core_percentage_cost_AAA_FEC_Solo(i)=(core_perc*total_cost_core_AAA_FEC_Solo(i))/core_max;

core_percentage_cost_ptm_FEC_Solo(i)=(core_perc*cost_ptm_FEC_Solo_core(i))/core_max;

        total_cost_AII_FEC_Solo(i) =
air_percentage_cost_AII_FEC_Solo(i)+core_percentage_cost_AII_FEC_Solo(i);
        total_cost_AAI_FEC_Solo(i) =
air_percentage_cost_AAI_FEC_Solo(i)+core_percentage_cost_AAI_FEC_Solo(i);
        total_cost_AAA_FEC_Solo(i) =
air_percentage_cost_AAA_FEC_Solo(i)+core_percentage_cost_AAA_FEC_Solo(i);
        total_cost_ptm_FEC_Solo(i) =
air_percentage_cost_ptm_FEC_Solo(i)+core_percentage_cost_ptm_FEC_Solo(i);

        end
        total_cost_AII,total_cost_AII_FEC,total_cost_AII_FEC_Solo
        % Plot the power levels of different approaches
        figure;
        plot(p_loss_3,total_cost_AII,'ko:',p_loss_3,total_cost_AII_FEC,'bo-
        .',p_loss_3,total_cost_AII_FEC_Solo,'ro-',...
            p_loss_3,total_cost_AAI,'k^:',p_loss_3,total_cost_AAI_FEC,'b^
        .',p_loss_3,total_cost_AAI_FEC_Solo,'r^-',...
            p_loss_3,total_cost_AAA,'ks:',p_loss_3,total_cost_AAA_FEC,'bs-
        .',p_loss_3,total_cost_AAA_FEC_Solo,'rs-',...
            p_loss_3,total_cost_ptm,'k+--

```

```

',p_loss_3,total_cost_ptm_FEC,'b+--',p_loss_3,total_cost_ptm_FEC_Solo,'r+--
','LineWidth',2),grid;

    legend('AII_A_1','AII_A_2','AII_A_3',...
           'AAI_A_1','AAI_A_2','AAI_A_3',...
           'AAA_A_1','AAA_A_2','AAA_A_3',...
           'PTM_A_1','PTM_A_2','PTM_A_3');

xlabel('Packet loss (%)');
ylabel('Normalized total cost');

```

## Σχεδιασμός τοπολογίας

Ο κώδικας παρακάτω χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό των διάφορων τοπολογιών που βρίσκονται στην παρούσα εργασία. Είναι γραμμένος σε Lua και δημιουργεί το πλέγμα δοθέντος του αριθμού των χρηστών και του τρόπου μετάδοσης (MBSFN ή PTM). Υλοποιεί τις συνάρτησεις του ψευδοκώδικα `create_deployment()` και `create_grid( )` στους αλγορίθμους που παρουσιάστηκαν στις ενότητες 7.1 και 7.2.

```

function create_grid(users_filename,MBSFN_filename) --Reads two files (user
positions and MBSFN cells positions and creates a grid big enough to contain
them)

    local new_grid={coverage_needs_update=true}

    local min_x,min_y,max_x,max_y=math.huge,math.huge,-math.huge,-
math.huge

    for line in io.lines(users_filename) do
        if line~="" then
            local x,y,size,probability=string.match(line,"([%d%-
]+)%s+([%d%-]+)%s*([%d%-]*)%s*([%d%-]*)")
            x,y,size=tonumber(x),tonumber(y),tonumber(size) or 0
            if x-size<min_x then min_x=x-size end
            if x+size>max_x then max_x=x+size end
            if y-size<min_y then min_y=y-size end
            if y+size>max_y then max_y=y+size end
        end
    end

    for line in io.lines(MBSFN_filename) do
        if line~="" then
            local x,y,size=string.match(line,"([%d%-]+)%s+([%d%-
]+)%s*([%d%-]*)")
            x,y,size=tonumber(x),tonumber(y),tonumber(size) or 0
            if x-size<min_x then min_x=x-size end

```

```

        if x+size>max_x then max_x=x+size end
        if y-size<min_y then min_y=y-size end
        if y+size>max_y then max_y=y+size end

    end

end

min_y=min_y-MAX_RINGS
max_y=max_y+MAX_RINGS
min_x=min_x-MAX_RINGS
max_x=max_x+MAX_RINGS

new_grid.width,new_grid.height=max_x-min_x+1,max_y-min_y+1
for x=1,new_grid.width do
    new_grid[x]={}
    for y=1,new_grid.height do
        new_grid[x][y]={}
    end
end

for line in io.lines(users_filename) do
    local x,y,size,probability=string.match(line,"([%d%-
]+)%s+([%d%-]+)%s*([%d%-]*)%s*([%d%-]*)")
    x,y,size,probability=tonumber(x)-min_x+1,tonumber(y)-
min_y+1,(tonumber(size) or 0),(tonumber(probability) or 100)
    if probability>0 then
        new_grid[x][y].has_users=true
        new_grid[x][y].has_users_probability=probability

        local neighbours={}
        for ring=1,size do
            neighbours=find_neighbours(x,y,ring,neighbours)
        end
        for i,neighbour in pairs(neighbours) do
            new_grid[neighbour.x][neighbour.y].has_users=true

new_grid[neighbour.x][neighbour.y].has_users_probability=probability
        end
    end
end

for line in io.lines(MBSFN_filename) do
    local x,y,size=string.match(line,"([%d%-]+)%s+([%d%-

```



```

]+) %s*([%d%-]*)")
        x,y,size=tonumber(x)-min_x+1,tonumber(y)-
min_y+1,(tonumber(size) or 0)
        new_grid[x][y].MBSFN=true
        if size>0 then
            local neighbours={}
            for ring=1,size do
                neighbours=find_neighbours(x,y,ring,neighbours)
            end
            for i,neighbour in pairs(neighbours) do
                new_grid[neighbour.x][neighbour.y].MBSFN=true
            end
        end
    end
    return new_grid
end

```

## ***Εύρεση της βέλτιστης τοπολογίας***

Η παρακάτω συνάρτηση, ελέγχει όλες τις πιθανές τοπολογίες του δικτύου, έως ότου βρεθεί αυτή που οδηγεί στο χαμηλότερο τηλεπικοινωνιακό κόστος μετάδοσης. Λαμβάνει υπόψη τα γειτονικά κελιά, τον τρόπο μετάδοσης που χρησιμοποιείται καθώς και τις συντεταγμένες του τρέχοντος κελιού. Υλοποιεί μέρος του αλγορίθμου για τη βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους που παρουσιάστηκε στην ενότητα 7.2.

```

function change_MBSFN_and_updatecoverage(grid,x,y,new_MBSFN)
if (grid[x][y].MBSFN or false)~=new_MBSFN then
--"or false" for the case that MBSFN is nil which differs from false
    grid[x][y].MBSFN=new_MBSFN
    grid[x][y].covered[0]=(grid[x][y].covered[0] or 0)+(new_MBSFN
and 1 or -1)
    grid[x][y].covered.total=grid[x][y].covered.total+(new_MBSFN
and 1 or -1)
    for ring=1,#ring_SE do
        for i,neighbour in pairs(find_neighbours(x,y,ring)) do
            if neighbour.x>0 and neighbour.y>0 and neighbour.x
<=grid.width and neighbour.y<=grid.height then

```

```

        grid[neighbour.x][neighbour.y].covered[ring]=(grid[neighbour.x]
[neighbour.y].covered[ring] or 0)+(new_MBSFN and 1 or -1)

        grid[neighbour.x][neighbour.y].covered.total=grid[neighbour.x]
[neighbour.y].covered.total+(new_MBSFN and 1 or -1)
            end
        end
    end
end
end

```

## ***Ενεργοποίηση / απενεργοποίηση κελιών που εξυπηρετούνται με την MBSFN λειτουργία***

Εδώ παρουσιάζεται η συνάρτηση που οδηγεί στην δημιουργία MBSFN περιοχής μέσα στην τοπολογία. Με τυχαίο τρόπο δημιουργεί MBSFN περιοχές μέσα στο πλέγμα και στη συνέχεια υπολογίζεται ο τρόπος για την εισαγωγή των βοηθητικών δακτυλίων. Χρησιμοποιείται για να βρεθεί η πιο αποτελεσματική διαμόρφωση της τοπολογίας του δικτύου που οδηγεί στο χαμηλότερο τηλεπικοινωνιακό κόστος. Υλοποιεί μέρος του αλγορίθμου για τη βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους που παρουσιάστηκε στην ενότητα 7.2.

```

function mutate(grid,X)
    local mutations={}
    local operation=math.random(0,3) --0 flips everything, 1 turns
everything false, 2 turns everything true, 3 turns assistings false.
    local x,y
    repeat
        x,y=math.random(1,grid.width),math.random(1,grid.height)
    until grid[x][y].has_users or grid[x][y].MBSFN
    repeat
        x,y=clip(x+math.random(-1,1),1,grid.width),clip(y+math.random(-
1,1),1,grid.height)
        if (operation==0 or operation==1) and grid[x][y].MBSFN then --
...we are turning a cell off.
            table.insert(mutations,1,{x=x,y=y,operation=operation})
--This ",1" is only needed if transformations have to be undone in the
reverse order.
            change_MBSFN_and_updatecoverage(grid,x,y,false)

```

```

elseif (operation==0 or operation==2) and not grid[x][y].MBSFN
then --...we are turning a cell on.

    table.insert(mutations,1,{x=x,y=y,operation=operation})
--This ",1" is only needed if transformations have to be undone in the
reverse order.

    change_MBSFN_and_updatecoverage(grid,x,y,true)

elseif (operation==3 and grid[x][y].MBSFN and not
grid[x][y].has_users) then

    table.insert(mutations,1,{x=x,y=y,operation=operation})
--This ",1" is only needed if transformations have to be undone in the
reverse order.

    change_MBSFN_and_updatecoverage(grid,x,y,false)

end

until math.random()>X

return mutations

end

```

## ***Αναστροφή των αποτελεσμάτων της προηγούμενης συνάρτησης***

Η συνάρτηση αυτή αναστρέφει τις αλλαγές της προηγούμενης. Χρησιμοποιείται από τον αλγόριθμο όταν αυτός αντιληφθεί ότι οι αλλαγές που έγιναν στην τοπολογία δεν οδηγούν στο ελάχιστο τηλεπικοινωνιακό κόστος. Έτσι λοιπόν αναστρέφει τις αλλαγές και επιστρέφει την τοπολογία στην κατάσταση που έλαβε ως είσοδο. Υλοποιεί μέρος του αλγορίθμου για τη βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους που παρουσιάστηκε στην ενότητα 7.2

```

function demutate(grid,mutations)

    for i,mutation in ipairs(mutations) do

        if (mutation.operation==0 or mutation.operation==1 or
mutation.operation==3) and not grid[mutation.x][mutation.y].MBSFN then --
...we had turned a cell off.

            change_MBSFN_and_updatecoverage(grid,mutation.x,mutation.y,true)

            elseif (mutation.operation==0 or mutation.operation==2) and
grid[mutation.x][mutation.y].MBSFN then --...we had turned a cell on.

                change_MBSFN_and_updatecoverage(grid,mutation.x,mutation.y,false)

            end

        end

    end

end

```

```
end
```

## *Εύρεση και μέτρηση γειτονικών κελιών*

Αυτή η συνάρτηση χρησιμοποιείται για την εύρεση των γειτονικών κελιών ως προς ένα κελί δείκτη σε μία συγκεκριμένη απόσταση από αυτό το κελί. Κρατά ένα πίνακα που να περιέχει αυτά τα δεδομένα. Στη δεύτερη συνάρτηση καταμετρούνται τα γειτονικά κελιά ως προς ένα κελί αναφοράς. Επιστρέφεται ο αριθμός των γειτονικών κελιών με είσοδο την απόσταση που μας ενδιαφέρει σε σχέση με το κελί αναφοράς. Υλοποιεί μέρος του αλγορίθμου για τη βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους που παρουσιάστηκε στην ενότητα 7.2.

```
function find_neighbours(x,y,dist,neighbours)
    neighbours=neighbours or {}
    for sub_x=x-math.floor(dist/2)-(dist%2)*((y+1)%2),x+math.ceil(dist/2)-
(dist%2)*((y+1)%2) do
        table.insert(neighbours,{x=sub_x,y=y-dist})
        table.insert(neighbours,{x=sub_x,y=y+dist})
    end
    for vertical=0,dist-1 do
        local temp,temp2=(vertical%2)*((y+1)%2),(2*dist-vertical)/2
        table.insert(neighbours,{x=x+math.ceil(temp2)-
temp,y=y+vertical})
        table.insert(neighbours,{x=x-math.floor(temp2)-
temp,y=y+vertical})
        if vertical~=0 then
            table.insert(neighbours,{x=x+math.ceil(temp2)-temp,y=y-
vertical})
            table.insert(neighbours,{x=x-math.floor(temp2)-temp,y=y-
vertical})
        end
    end
    return neighbours
end

function count_neighbours(dist)
--Return the number of neighbours at a certain distance.
    return dist*6
end
```

## *Ανανέωση των στοιχείων της τοπολογίας*

Η παρακάτω συνάρτηση ανανεώνει όλα τα κελιά της τοπολογίας προσθέτοντας όπου χρειάζεται τους κατάλληλους βοηθητικούς δακτυλίους όπου αυτό απαιτείται. Υλοποιεί μέρος του αλγορίθμου για τη βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους που παρουσιάστηκε στην ενότητα 7.2.

```
function update_MBSFN_coverage(grid)
how many assisting cells they have at different distances.
    grid.coverage_needs_update=false
    for y=1,grid.height do
        for x=1,grid.width do
            grid[x][y].covered=grid[x][y].MBSFN and {[0]=1,total=1}
or
{total=0}
            end
        end
    end
    for y=1,grid.height do
        for x=1,grid.width do
            for ring=1,#ring_SE do
                if grid[x][y].MBSFN then
                    for i,neighbour in
pairs(find_neighbours
(x,y,ring)) do
                        if neighbour.x>0 and
neighbour.y>0 and
neighbour.x<=grid.width and
neighbour.y<=grid.height then

grid[neighbour.x][neighbour.y].covered[ring]=(grid[neighbour.x]
[neighbour.y].covered[ring] or 0)+1

grid[neighbour.x][neighbour.y].covered.total=grid[neighbour.x]
[neighbour.y].covered.total+1

                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
```

```
end  
end
```

## *Δημιουργία βοηθητικών δακτυλίων*

Η παρακάτω συνάρτηση δημιουργεί τους βοηθητικούς δακτυλίους σε κάθε MBSFN περιοχή που αποτελείται από κάποιο αριθμό κελιών. Υλοποιεί μέρος του αλγορίθμου για τη βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους που παρουσιάστηκε στην ενότητα 7.2.

```
function create_rings(grid,rings,...)  
    local ring_cells={}  
    for y=1,grid.height do  
        for x=1,grid.width do  
            local complies=true  
            for i,ring_type in ipairs(arg) do  
                if not grid[x][y][ring_type] then  
                    complies=false  
                    break  
                end  
            end  
            if complies then  
                for ring=1,rings do  
  
ring_cells=find_neighbours(x,y,ring,ring_cells)  
                    end  
                end  
            end  
            for i,neighbour in ipairs(ring_cells) do  
                if neighbour.x>0 and neighbour.y>0 and neighbour.x<=grid.width  
and neighbour.y<=grid.height then  
                    for i,ring_type in ipairs(arg) do  
                        grid[neighbour.x][neighbour.y][ring_type]=true  
                    end  
                end  
            end  
            grid.coverage_needs_update=true  
        end  
    end
```

## *Έλεγχος για το κόστος της τρέχουσας τοπολογίας*

Η παρούσα συνάρτηση λαμβάνει σαν είσοδο την εκάστοτε τοπολογία και υπολογίζει το συνολικό τηλεπικοινωνιακό κόστος που απαιτείται γι' αυτή. Εδώ περιλαμβάνονται όλα τα επιμέρους κόστη που παρουσιάστηκαν στην εργασία. Επιστρέφονται οι τιμές του κάθε τμήματος του κόστους καθώς και το συνολικό που απαιτείται για την τηλεπικοινωνιακή σύνοδο.

```
function evaluate(grid)
    local RE,cost,total_transmitting,total_MBSFN,c_recurring_air,
    c_polling_air=0,0,0,0,0,0
    if grid.coverage_needs_update then      update_MBSFN_coverage(mygrid)
end
    for y=1,mygrid.height do
        for x=1,grid.width do
            local SE=0
            if grid[x][y].MBSFN then
                SE=ring_SE[0]
                for ring=1,#ring_SE do
                    SE=SE+ring_SE[ring]*(grid[x][y].covered[ring]
                    or 0)/count_neighbours(ring)
                    if (grid[x][y].covered[ring]
                    or 0)<count_neighbours(ring) then
                        break end
                    end
                end
            else
                SE=PTM_SE
            end
            grid[x][y].SE=SE
            if grid[x][y].has_users then
                RE=RE+SE*(grid[x][y].has_users_probability/100)
            end
            if grid[x][y].MBSFN then
                total_MBSFN=total_MBSFN+1
            end
            if grid[x][y].has_users and not grid[x][y].MBSFN
then
                total_transmitting=total_transmitting+grid[x]
```

```

        [y].has_users_probability/100
    elseif grid[x][y].MBSFN then
        total_transmitting=total_transmitting+1
    end
    --local c_RE=RE/total_transmitting
    --c_recurring_air=c_recurring_air*c_RE
    c_polling_air=c_polling_air+max_SE/SE
end
end
RE=RE/total_transmitting
local c_MBSFN=total_MBSFN*recurring_sync_cost
local c_recurring_air=(2.4/RE)*total_transmitting
local c_recurring_M1=total_transmitting*recurring_DM1
worst_c_recurring_air=math.max(worst_c_recurring_air
or -math.huge,c_recurring_air)
worst_c_recurring_M1=math.max(worst_c_recurring_M1
or -math.huge,c_recurring_M1)
worst_c_MBSFN=math.max(worst_c_MBSFN or -math.huge,c_MBSFN)
local c_recurring=c_recurring_air+c_recurring_M1+c_MBSFN
local normalized_MBSFN=0.05*c_MBSFN/(worst_c_MBSFN or 1)
local normalized_air=
0.85*c_recurring_air/(worst_c_recurring_air or 1)
local normalized_M1=
0.1*c_recurring_M1/(worst_c_recurring_M1 or 1)
local normalized=normalized_M1+normalized_air+normalized_MBSFN
return {
    total_transmitting=total_transmitting,
    total_MBSFN=total_MBSFN,
    RE=RE,
    c_recurring=c_recurring,
    c_recurring_air=c_recurring_air,
    c_recurring_M1=c_recurring_M1,
    c_MBSFN=c_MBSFN,
    myratio=RE/c_recurring,
    normalized_MBSFN=normalized_MBSFN,
    normalized_air=normalized_air,
    normalized_M1=normalized_M1,
    normalized=normalized
}

```



```
end
```

```
}
```