

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Στα Συστήματα Ασύρματης Επικοινωνίας

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Δικτύωση Συσκευής-Προς-Συσκευή (Device-To-Device) Με
Προληπτική Αποθήκευση (Proactive
Caching)

Ελένη Παπαδοπούλου

Επιβλέπων Καθηγητής
Δημοσθένης Βουγιούκας

Δεκέμβριος 2018

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Στα Συστήματα Ασύρματης Επικοινωνίας

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Δικτύωση Συσκευής-Προς-Συσκευή (Device-To-Device)
Με Προληπτική Αποθήκευση (Proactive Caching)

Ελένη Παπαδοπούλου

Επιβλέπων Καθηγητής
Δημοσθένης Βουγιούκας

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών
Στα Συστήματα Ασύρματης Επικοινωνίας
από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών
του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Δεκέμβριος 2018

Περίληψη

Στόχος αυτής της διπλωματικής είναι, να δείξουμε κατά πόσο είναι εφικτό να ικανοποιήσουμε την αυξητική τάση ζήτησης δεδομένων από τους χρήστες με σκοπό την εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών με τα δίκτυα 5G. Για να επιτευχθεί αυτό, οι ίδιοι οι χρήστες αποθηκεύουν αρχεία στα δικά τους μέσα (Smartphone, laptop, tablet κτλ) και μέσω αυτών των χρηστών γίνεται η διάθεση του περιεχομένου στους υπόλοιπους χρήστες. Έτσι, έχουμε μία προσωρινή αποθήκευση και αναμετάδοση των περιεχομένων αυτών. Η ιδιαιτερότητα είναι ότι η αποθήκευση των περιεχομένων γίνεται με βάση την ζήτηση δηλαδή, το πόσο δημοφιλές είναι ένα αρχείο.

Αρχικά, γίνεται μελέτη για τα δίκτυα πέμπτης γενιάς αλλά και για τις προγενέστερων γενών συγκρίνοντας και βλέποντας τις βελτιώσεις που έχουν γίνει. Μελετώντας τα θετικά στοιχεία των 5G δικτύων πραγματοποιήθηκαν διάφορες προσομοιώσεις στο Matlab και συγκρίθηκαν διάφοροι αλγόριθμοι μεταξύ τους. Σε όλους τους αλγόριθμους δημιουργήθηκε ένας πίνακας με δημοφιλή αρχεία και στην συνέχεια επιλέχθηκε η συσκευή που είχε το πιο δημοφιλές αρχείο για να κάνει την μετάδοση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο αριθμός των αρχείων που υπάρχουν προς μετάδοση επηρεάζουν την πιθανότητα διακοπής μετάδοσης. Αντίθετα, οι καθυστερήσεις και το throughput δεν δείχνουν να επηρεάζονται στον ίδιο βαθμό από τον αριθμό των αρχείων.

Summary

The aim of this thesis is to show if it is feasible to meet the growing demand for data, in order to serve more users to 5G networks. To achieve this, users store files on their own devices (Smartphone, Laptop, Tablet etc) and through these devices, they provide those files made to other users. So, in this scenario there is a temporary storing and retransmission of contents. The peculiarity is that this proces is based on the popularity of a file.

Firstly, we study 5G networks as well as previous generations through comparisons outlining the improvements that have been made over the years. By implementing some of the novel characteristics of 5G networks, several simulations were realized in Matlab and various algorithms were compared to each other. In all the algorithms, a table of popular files was created, and in each run a devices was selected having the most popular file to perform the transmission.

The results showed that the number of files to be transmitted may affect the outage possibility of the network. At the same time, delays and throughput did not seem to be affected by the number of files at the devices' buffers

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί μεταπτυχιακή διατριβή στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος «Συστήματα Ασύρματης Επικοινωνίας» της Σχολής Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της μεταπτυχιακής διατριβής μου, κ. Δημοσθένη Βουγιούκα, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων και στον καθηγητή κ. Νομικό Νικόλαο για τις πολύτιμες υποδείξεις του ειδικά στο κομμάτι που αφορά τον κώδικα αλλά και στην προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τον πατέρα μου και τον σύζυγο μου για την ηθική συμπαράσταση τους σε όλη την διάρκεια του μεταπτυχιακού αλλά πάνω από όλους την μητέρα μου που μπορεί να μην την έχω στο τέλος αυτού του μεταπτυχιακού, ελπίζω όμως να την έχω κάνει περήφανη.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	8
1.1	Ιστορική αναδρομή	8
1.1.1	Δίκτυα 1G	9
1.1.2	Δίκτυα 2G	9
1.1.3	Δίκτυα 3G	9
1.1.4	Δίκτυα 4G	10
1.2	Δίκτυα 5G	11
1.2.1	Προσδοκίες	11
1.2.2	Καινούργιες Τεχνολογίες	11
1.3	Προσωρινή Αποθήκευση Δεδομένων και Device-to-Device	12
1.4	Rayleigh distribution και Rician distribution	14
2	Συστήματα Επικοινωνίας D2D συστημάτων	16
2.1	Τρόποι Επικοινωνίας Και Multicast	16
2.2	Video Caching	19
2.3	Μέσα Αποθήκευσης	21
2.4	Ασφάλεια	23
3	Τοπολογίες και Μοντέλα D2D Συστημάτων	26
3.1	SLCN	26
3.2	SBS-UE	27
3.3	Στατικά-Δυναμικά Δίκτυα	28
3.4	HCN	29
4	Αλγόριθμοι D2D Συστημάτων	32
4.1	ADMM	32
4.2	Greedy	34
4.3	Επαναληπτικός Αλγόριθμος MWIS	37
4.4	Randomized Rounding Algorithm	39
4.5	Heuristic Algorithm	41

4.6	Αλγόριθμος Με Χρήση Την Κινητικότητα Και Την Πρόβλεψη Throughput Για Την Μεταφορά Δεδομένων Βίντεο	43
5	Αλγόριθμοι Αναμεταδοτών (relays)	47
5.1	Αλγόριθμος LoCo (Low Complexity)	47
5.2	Αλγόριθμος BRS	48
5.3	Αλγόριθμος Max-Link	49
5.4	Αλγόριθμος Link Selection	50
5.5	Αλγόριθμος Max-link	51
5.6	Αλγόριθμος GML	52
5.7	Σύγκριση Αλγορίθμου LoCo.....	54
5.7.1	Πλήρη ισχύς στον σταθμό βάσης και το $\frac{1}{4}$ στους χρήστες.....	54
5.7.2	Πλήρη ισχύς στον σταθμό βάσης και το $\frac{1}{8}$ στους χρήστες.....	57
6	Προτεινόμενη Αλγόριθμοι Προληπτικής Αποθήκευσης.....	60
6.1	Ο νόμος του Zipf	60
6.2	Zipf και άλλες εργασίες.....	60
6.3	Κώδικας	61
6.4	Σύνταξη	62
7	Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προκλήσεις.....	
7.1	Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.....	63
7.2	Μελλοντικές Προκλήσεις.....	67
A	Παράρτημα A	68
A.1	Ακρώνυμα	68
A.2	Πίνακας αντιστοίχισης γραφικών παραστάσεων	69
	Βιβλιογραφία	70

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η τεχνολογική έξαρση και η ανάγκη για όλο και περισσότερες εφαρμογές αλλά και ποιοτικότερο τρόπο επικοινωνίας έχει κάνει τα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα να εξελίσσονται συνέχεια. Από το 1970 μέχρι σήμερα τα άλματα εξέλιξης στον τομέα αυτόν είναι μεγάλα, από την απλή κινητή επικοινωνία στα δίκτυα 1G έχουμε φτάσει να επικοινωνούμε με μεγάλες ταχύτητες μέσω Voice over IP αλλά και να χρησιμοποιούμε εφαρμογές που δεν μπορούσαμε να φανταστούμε στο παρελθόν, όπως είναι να ανοίγουμε το κλιματιστικό στο σπίτι μας όταν δεν είμαστε εκεί. Οι εξελίξεις όμως που έρχονται με τα δίκτυα 5G είναι ακόμα μεγαλύτερες έχοντας μεγάλο ενδιαφέρον.

Γενιές	Υπηρεσίες	Τεχνολογίες Φυσικού επιπέδου και επιπέδου πρόσβασης
1G	Υπηρεσίες φωνής	FDMA
2G	Ψηφιακές υπηρεσίες φωνής, SMS	FDMA, TDMA, CDMA
3G	Υψηλές ταχύτητες, υπηρεσίες πολυμέσων	CDMA
4G	Μεγαλύτερες ταχύτητες για τις υπηρεσίες πολυμέσων, VoiceIP	MIMO, OFDMA

Πίνακας 1 Εξέλιξη των κυψελωτών δικτύων

1.1.1 Δίκτυα 1G

Τα πρώτα δίκτυα 1G παρείχαν την δυνατότητα να επικοινωνεί ένας χρήστης με έναν άλλον με την χρήση ενός κινητού τηλεφώνου χωρίς να χάνεται η σύνδεση του κατά την κίνηση. Το πρώτο κινητό που έλαβε άδεια έγκρισης ήταν το μοντέλο της Motorola DynaTAC8000X. Χρησιμοποιείται τεχνολογία FM (Frequency Modulation, διαμόρφωση συχνότητας), FDD (Frequency Division Duplex συχνοδιακριτική αμφίδρομη επικοινωνία) και FDMA (Frequency Division Multiple Access πολυπλεξία στη συχνότητα). Τα κοινά κανάλια σήματος χρησιμοποιήθηκαν σε κυψελωτά συστήματα πρώτης γενιάς.

Λόγω της χρήσης της αναλογικής τεχνολογίας τα αναλογικά σήματα ομιλίας παρέχονται από τα ασύρματα συστήματα πρώτης γενιάς. Επειδή είναι βασισμένα σε αναλογικά συστήματα, η μετάδοση δεν είναι ασφαλής. Το πρώτο αυτόματο κυψελοειδή δίκτυο εφαρμόστηκε στην Ιαπωνία το 1979. Η μετάδοση δεδομένων μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού χρήστη ήταν ανεπαρκής και είχε χαμηλό ποσοστό μετάδοσης δεδομένων γι' αυτό απαιτούνταν τα κυψελωτά συστήματα της επόμενης γενιάς.

1.1.2 Δίκτυα 2G

Τα δίκτυα 1G διαδέχονται τα δίκτυα 2G που παρέχουν υπηρεσίες με μεγαλύτερο ρυθμό δεδομένων. Είναι το πρώτο ψηφιακό δίκτυο GSM, το οποίο καθορίζει ένα ενιαίο πρότυπο επικοινωνίας, αντιμετωπίζει το φαινόμενο του κατακερματισμού, εξυπηρετεί μεγαλύτερο αριθμό χρηστών και φέρνει μαζί του τα γραπτά μηνύματα SMS.

Σε αυτή την γενιά δεν χρησιμοποιείται η τεχνική FM αλλά τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης. Αυτές οι τεχνικές είναι η TDMA (Time Division Multiple Access Χρονική Διάρθρωση Πολλαπλής Πρόσβασης), η CDMA (Code Division Multiple Access Κωδικοποίηση Πολλαπλής Πρόσβασης) και η FDD από τα δίκτυα 1G. Χάρη στην χρήση αυτών των τεχνολογιών αλλά και λόγω της αύξησης του φάσματος τριπλασιάστηκε η χωρητικότητα και η αποδοτικότητα του συστήματος. Τα πρότυπα στα δίκτυα 2G χαρακτηρίζονται από τους τύπους GSM, IS136, PDC, IS-95. Τα δίκτυα 2G τέθηκαν σε λειτουργία το 1991 στην Φιλανδία.

1.1.3 Δίκτυα 3G

Η Τρίτη γενιά ασύρματων συστημάτων 3G παρέχει συμβατότητα με τις παλαιότερες εκδόσεις δικτύων 2G. Σε αντίθεση με τα δίκτυα 2G, στα δίκτυα 3G οι χρήστες χρησιμοποιούν περισσότερο το κινητό τηλέφωνο οπότε υπάρχει

μεγαλύτερη ανάγκη για νέες τεχνολογίες και έτσι ξεκινάει η μεταφορά δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες. Κάποιες από τις καινούργιες τεχνολογίες που προσφέρουν τα δίκτυα 3G είναι τα πολυμέσα, η μεταφορά πακέτων δεδομένων, η πρόσβαση στο διαδίκτυο, η αποστολή και λήψη e-mail και τέλος η τηλεδιάσκεψη. Εμφανίστηκε τα πρώτα χρόνια του 21^{ου} αιώνα.

Τα δίκτυα 3G έχουν δύο τύπους το 3GPP και 3GPP2. Το πρώτο περιλαμβάνει το WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), το TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) και το EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution). Το WCDMA ονομάζεται επίσης και UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) και χρησιμοποιεί τα πρότυπα FDD και TDD. Στο δεύτερο τύπο 3GPP2 η συχνότητα καθοδικής ζεύξης μπορεί να εφαρμοστεί με την χρήση άμεσης διασποράς ή πολλαπλών φερόντων σημάτων ενώ η συχνότητα ανοδικής ζεύξης υποστηρίζει τον ταυτόχρονο συνδυασμό πολλαπλών φερόντων σημάτων και την άμεση διασπορά αυτών.

1.1.4 Δίκτυα 4G

Λόγω αυξημένης ζήτησης πολυμέσων από τους χρήστες αναπτύχθηκαν τα δίκτυα 4G. Το βασικό πλεονέκτημα των δικτύων τέταρτης γενιάς είναι οι πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων που προσφέρουν, ξεπερνώντας κατά πολύ τις αντίστοιχες των δικτύων 3G. Με αυτό τον τρόπο στα δίκτυα 4G οι υπηρεσίες που προσφέρουν τα δίκτυα 3G έχουν καλύτερη ποιότητα, αξιοπιστία, μεγαλύτερες ταχύτητες και σημαντικό περιορισμό των latencies. Μία επιπλέον εφαρμογή που υποστηρίζουν τα δίκτυα 4G είναι η Voice over IP (VoIP) και η IPTV, για τις οποίες η ποιότητα της σύνδεσης είναι κύριο χαρακτηριστικό και καθορίζει το ποσοστό των δεδομένων που μεταφέρονται και το αν η μεταφορά θα είναι επιτυχής, συνεχής και δε θα διακόπτεται.

Στα δίκτυα 4G υποστηρίζονται τα νέα πρωτόκολλα Internet, Ipv6, ενώ παρέχουν μεγαλύτερη πληρότητα κάλυψης. Παράλληλα, έχουν δεχθεί ποικίλες βελτιώσεις που επιτρέπουν να έχουν μέγιστη απόδοση ακόμη κι αν ο κινητός δέκτης (χρήστης) βρίσκεται εν κινήσει. Αυτό σημαίνει μικρότερη πιθανότητα για διακοπή της σύνδεσης μεταξύ δύο χρηστών. Επίσης, υποστηρίζει την μεταγωγή πακέτων καθώς η δομή του βασίζεται στην αρχιτεκτονική δικτύου IP. Επιπλέον, υπάρχουν ακόμη και σήμερα πολλές παραμεθόριες περιοχές της χώρας, που δεν έχουν εγκατεστημένη υποδομή για οικιακές συνδέσεις Internet, με αποτέλεσμα ένα ποσοστό του πληθυσμού να μην έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο. Η εγκατάσταση οπτικών ινών και DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer Έλεγχος πρόσβασης πολυμέσων ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής) σε τέτοιες περιοχές έχει συχνά πολύ μεγάλο κόστος και δεδομένης της μικρής τους αγοράς κρίνεται ασύμφορη η επένδυση. Αντίθετα, η κάλυψη 4G μπορεί να επιτευχθεί χωρίς μεγάλα κόστη και αλλαγές εξοπλισμού απλά με την

εγκατάσταση ενός πύργου εκπομπής κινητής τηλεφωνίας που μπορεί να καλύψει μία ευρεία περιοχή και να ικανοποιήσει τις ανάγκες των χρηστών.

4.5 Δίκτυα 5G

1.2.1 Προσδοκίες

Τα δίκτυα 5G θα είναι η θεμελίωση της εικονικής πραγματικότητας, της αυτόνομης οδήγησης, των IoT (Internet of Things) και γενικά τεχνολογιών που αναπτύσσονται και θα τις δούμε στο μέλλον. Αυτό που περιμένουμε από τα 5G δίκτυα είναι η παροχή μεγάλου εύρους ζώνης, το οποίο σημαίνει πολύ υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στο επίπεδο των gigabit. Ένα ακόμη πλεονέκτημα των δικτύων 5G αποτελεί την μικρότερη δυνατή καθυστέρηση όπου είναι σε ένα εύρος χιλιοστού του δευτερολέπτου, δέκα φορές καλύτερο από το υπάρχον 4G. Επιπλέον, διαθέτουν επεκτασιμότητα και ευκινησία που μας εγγυάται την σύνδεση πολλών συσκευών με την αρχιτεκτονική σε ένα δίκτυο 5G. Ωστόσο, για κάποια από αυτά θα χρειαστούν δραστικές αλλαγές στον εξοπλισμό των παρόχων. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα ταχύτητες μέχρι και 10Gbps πράγμα που σημαίνει ότι θα είναι πιο αποδοτικό ακόμα και από το οικιακό δίκτυο WiFi. Από την άλλη, εταιρείες κατασκευής κινητών τηλεφώνων πρέπει να προσαρμόσουν τις νέες κινητές συσκευές ώστε να περιλαμβάνουν πολλαπλές κεραίες για να μπορέσουν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της καινούργιας γενιάς δικτύων. Ωστόσο για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι χρειάζονται καινούργιες τεχνολογίες αλλά και αναβάθμιση αυτών που ήδη χρησιμοποιούνται στα 4G-LTE δίκτυα.

Καινούργιες Τεχνολογίες

Οι καινούργιες τεχνολογίες με τις οποίες θα επιτευχθούν τα παραπάνω είναι:

- 1 *Millimeter waves*: οι μέχρι τώρα συσκευές λειτουργούν σε ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων το οποίο είναι κάτω από 6GHz. Με την αυξημένη ζήτηση δεδομένων αλλά και με την εφεύρεση καινούργιων συσκευών αυτό το εύρος δεν είναι αρκετό με αποτέλεσμα την μείωση των ταχυτήτων. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα οι ερευνητές πειραματίστηκαν με την εκπομπή μικρότερων κυμάτων χιλιοστού μεταξύ 30 και 300GHz. Αυτό το τμήμα φάσματος δεν έχει χρησιμοποιηθεί ξανά για κινητές συσκευές και με την χρήση του σημαίνει μεγαλύτερο bandwidth. Αυτά τα κύματα έχουν το μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να διαπεράσουν τοίχους ή άλλα αντικείμενα και επηρεάζονται από τα καιρικά φαινόμενα ακόμα και από τα δέντρα.
- 2 *Small cell networks*: μέχρι τώρα έχουμε τα BS που καλύπτουν τους χρήστες σε ένα cell. Με τα καινούργια κύματα όμως που επηρεάζονται έντονα από αντικείμενα οι τωρινές εγκαταστάσεις δεν είναι επαρκείς. Γι αυτό τον λόγο θα γίνει εγκατάσταση πολλών mini base station χαμηλής ενέργειας. Αυτά

θα είναι εγκαταστημένα πιο πυκνά με αποτέλεσμα όταν ένας χρήστης κινείται ανάμεσα από εμπόδια να μην χάνει το σήμα του.

- 3 *Massive MIMO* (Multiple Input-Multiple Output): μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται μερικές δεκάδες κεραιών σε έναν σταθμό που διαχειρίζονται την κίνηση στην συγκεκριμένη κυψέλη. Με την καινούργια τεχνολογία του massive MIMO οι κεραιές αυτές γίνονται εκατοντάδες σε έναν σταθμό με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας. Από την ύπαρξη τόσων πολλών κεραιών όμως δημιουργούνται παρεμβολές. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα βρίσκεται στην επόμενη τεχνολογία.
- 4 *Beamforming*: η οποία τεχνολογία λειτουργεί όπως τα φανάρια αλλά για κυψελωτά δίκτυα. Με κάθε εκπομπή ενός κύματος σε κάθε κατεύθυνση τα BS θα πρέπει να στέλνουν εστιασμένη ροή δεδομένων στον χρήστη για να γίνεται η εξομάλυνση των παρεμβολών.
- 5 *Full duplex*: μέχρι στιγμής οι σταθμοί βάσης μπορούν να κάνουν λήψη και μετάδοση δεδομένων όχι όμως την ίδια χρονική στιγμή. Δεν μπορούν να υπάρξουν δύο σήματα στην ίδια συχνότητα όπου το ένα πηγαίνει και το άλλο να έρχεται γιατί αλλιώς θα δημιουργούταν παρεμβολές. Αυτό μπορεί να λυθεί με το να λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες δηλαδή, σε άλλη συχνότητα να γίνεται η λήψη και σε άλλη η μετάδοση. Ακόμα μία λύση είναι να δημιουργηθεί ένας δακτύλιος στην ίδια συχνότητα έτσι ώστε να μην υπάρχει σύγκρουση μεταξύ των κυμάτων που μεταδίδονται και των κυμάτων που γίνεται λήψη.

Ένα από τα προβλήματα που προκύπτουν με την αύξηση ζήτησης δεδομένων είναι η χωρητικότητα της κυψέλης είτε αυτή είναι στα MBS (Macro Base Station) όπως γίνεται μέχρι τώρα ή στα SBS (Small Base Station) όπως επιδιώκουν να κάνουν στο μέλλον. Για να μπορέσει να λυθεί αυτό το πρόβλημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία της προσωρινής αποθήκευσης μνήμης δεδομένων, που για ένα χρονικό διάστημα είναι δημοφιλή, στις συσκευές των χρηστών εκμεταλλευόμενη την χωρητικότητα του κινητού τηλεφώνου. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η ζήτηση δεδομένων από τους κεντρικούς σταθμούς.

4.5 Προσωρινή Αποθήκευση Δεδομένων και Device-to-Device

Το caching (προσωρινή αποθήκευση δεδομένων) είναι μία τεχνολογία που κερδίζει έδαφος, ειδικά σε εξαιρετικά πυκνά δίκτυα, όπου πολλές συνδεδεμένες συσκευές προσπαθούν να έχουν πρόσβαση σε διάφορες υπηρεσίες δικτύου σε συνθήκες μειωμένης καθυστέρησης, ενεργειακής απόδοσης και περιορισμένου εύρους ζώνης. Σε συνδυασμό με την D2D επικοινωνία στα κυψελοειδή δίκτυα μπορεί να γίνει πιο άμεση η επικοινωνία μεταξύ δύο χρηστών κινητής

τηλεφωνίας χωρίς την διαμεσολάβηση κάποιου σταθμού βάσης. Αυτού του είδους η επικοινωνία μπορεί να αυξήσει την φασματική απόδοση του δικτύου, την ενεργειακή απόδοση, τις καθυστερήσεις και την ευθύτητα (1).

Η ανάγκη για χρήση τέτοιων τεχνολογιών είναι γιατί το IP traffic αυξάνεται με τεράστιο ρυθμό και αναμένεται να φτάσει τα 2 zetabytes ($2 \cdot 1000^7$ bytes) μέχρι το 2019. Τα κινητά δίκτυα δεδομένων έχουν προβλέψει να υποστηρίξουν το 14% αυτής της παγκόσμιας κίνησης δεδομένων όπου προέρχεται από μία πληθώρα διαφορετικών τμημάτων της αγοράς. Οι τρέχουσες γενιές κινητών δικτύων δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτή την εκρηκτική αύξηση της κίνησης λόγω περιορισμού χωρητικότητας, backhaul. Παρά την τεχνολογική εξέλιξη σε PHY και MAC επίπεδο, όπως είναι οι παρεμβολές μεταξύ των κυψελών, η βοήθεια που προσφέρουν είναι ανεπαίσθητη (1).

Από την άλλη μεριά, η νέα αρχιτεκτονική των 5G για την ασύρματη πρόσβαση δικτύου RAN (Radio Access Network) συμπεριλαμβάνει την συμπύκνωση μικρών κυψελών, αποδοτική ασύρματη οπίσθια ζεύξη και αυτό-οργάνωση του δικτύου (2). Για να λειτουργήσουν σωστά όμως χρειάζονται αποδοτικό throughput, μείωση των καθυστερήσεων και ενεργειακή απόδοση. Όπου αυτό σημαίνει χίλιες φορές υψηλότερη απόδοση throughput, καθυστέρηση σε χιλιοστό του δευτερολέπτου και 90% συνολική εξοικονόμηση ενέργειας (3).

Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι με το caching γιατί έχουμε αποτελεσματικότερη χρήση του ραδιο-φάσματος για να καταστεί δυνατή η ταχεία πρόσβαση σε υπηρεσίες πολυμέσων που απαιτούν εύρος ζώνης μέσω ασύρματων δικτύων. Τα βίντεο και γενικά τα πολυμέσα χρειάζονται μεγαλύτερο εύρος ζώνης απ' ό,τι τα απλά δεδομένα κειμένου τα οποία όμως δεν καλύπτονται από τα μέχρι τώρα 4G δίκτυα. Μία νέα κατηγορία τεχνικών ασύρματης επικοινωνίας είναι οι επικοινωνίες που συνεργάζονται μεταξύ τους όπως είναι το D2D. Σε αυτή οι κόμβοι βοηθούν ο ένας τον άλλον στην μετάδοση πληροφοριών για την πραγματοποίηση χωρικής ποικιλομορφίας (3) (4). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών και επιπλέον, βρίσκει εφαρμογή στην αντιμετώπιση διακοπών εξαιτίας φυσικών καταστροφών. Η πρόκληση όμως εντοπίζεται στην δυσκολία να εκμεταλλευτούμε την ιδιότητα της πολλαπλής διανομής του ασύρματου καναλιού και στην παρουσία χρηστών που σπάνια έχουν πρόσβαση στο ίδιο περιεχόμενο ταυτόχρονα (5).

Εντούτοις, οι πάροχοι δικτύων γενικότερα μπορούν να εκμεταλλευτούν την πληροφορία του περιεχομένου και να ταξινομήσουν το περιεχόμενο με βάση τη δημοφιλία για να βελτιωθούν οι απαιτήσεις αποθήκευσης περιεχομένου πριν αυτό ζητηθεί από τους τελικούς χρήστες. Με αυτό τον τρόπο ικανοποιείται η απαίτηση σε QoS, η μείωση της χρήσης εύρους ζώνης (bandwidth) και η κατανάλωση ενέργειας (6).

4.5

Rayleigh Distribution Και Rician Distribution

Σε όλες τις περιπτώσεις ασύρματης επικοινωνίας δύο χρηστών υπάρχει περίπτωση οι δύο χρήστες να έχουν οπτική επαφή (LOS) και να μην έχουν οπτική επαφή (NLOS). Ακόμα και όταν υπάρχει οπτική επαφή εάν ένας από τους δύο χρήστες κινείται μπορεί να χαθεί η οπτική επαφή. Στην περίπτωση απουσίας οπτικής επαφής η επικοινωνία γίνεται με τους μηχανισμούς διάδοσης και για αυτό τον λόγο δημιουργούνται απότομες διαλείψεις ανάλογα την φάση του σήματος που σε κάποια σημεία αθροίζονται θετικά και σε κάποια αρνητικά. Στην περίπτωση που έχουμε οπτική επαφή μεταξύ των χρηστών τότε οι διαλείψεις είναι μικρότερες γιατί υπάρχει μία ισχυρή απευθείας συνιστώσα και άλλες μικρότερες που προκύπτουν από τους μηχανισμούς διάδοσης. Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε στατιστικά την ισχύ του σήματος σε αυτές τις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιούνται δύο διανομές η Rayleigh για NLOS και η Rician για LOS.

Η κατανομή Rayleigh είναι μία συνεχής διανομή πιθανότητας (PDF Probability Density Function) για θετική αποτίμηση τυχαίων μεταβλητών. Προσεγγίζει ικανοποιητικά τις ταχείες διαλείψεις σε εν κινήσει συσκευές όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή.

Η συνάρτηση PDF για την κατανομή Rayleigh δίνεται από τον τύπο:

$$F(x, \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-x^2/(2\sigma^2)} \text{ για } x \geq 0$$

Όπου σ είναι η παράμετρος scale

Η κατανομή Rician χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις οπτικής επαφής γιατί σε αυτή την περίπτωση έχουμε μία ισχυρή απευθείας συνιστώσα και άλλες μικρότερες που δημιουργούνται από τους μηχανισμούς διάδοσης. Αθροιστικά οι μικρές συνιστώσες έχουν μικρότερη ισχύ από ότι η απευθείας συνιστώσα. Μπορούμε να υπολογίσουμε την κατανομή Rician από τον τύπο:

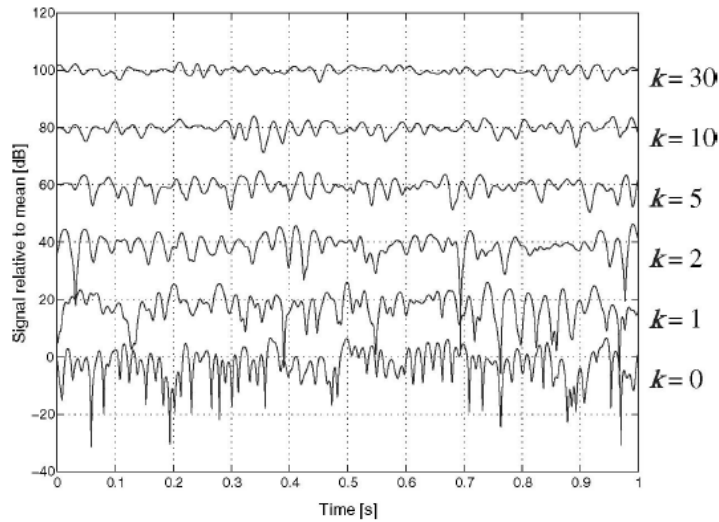
$$P_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2+x^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{rs}{\sigma^2}\right)$$

Σε αυτό τον τύπο δύο είναι οι κύριοι παράμετροι που καθορίζουν την κατανομή και αυτοί είναι το x και το σ . Καθορίζουν την συνάρτηση probability density (PDF).

Η κατανομή Rician μπορεί να εκφραστεί και με βάση τον παράγοντα k . Ο παράγοντας k είναι ο λόγος της ισχύος της απευθείας συνιστώσας προς την συνολική ισχύ των πολυδιαδρομικών συνιστωσών.

$$k = \frac{\text{power in constant part}}{\text{power in random part}} = \frac{s^2}{2\sigma^2}$$

Όπου s είναι το πλάτος της απευθείας συνιστώσας και $2\sigma^2$ είναι η συνολική ισχύς των πολυδιαδρομικών συνιστωσών.



Εικόνα 1 Όσο μεγαλώνει ο παράγοντας k τόσο μικραίνουν οι διαλείψεις.

Τα κανάλια τύπου Rice χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη ισχυρής απευθείας συνιστώσας μειώνοντας τα επίπεδα διαλείψεων που. Επίσης, υπάρχει πιθανότητα οι διαλείψεις ενός ασύρματου καναλιού να ακολουθεί κατανομή Rice και στην περίπτωση που δεν έχουμε οπτική επαφή εάν μία συνιστώσα είναι πιο ισχυρή από όλες τις υπόλοιπες.

Κεφάλαιο 2

Συστήματα Επικοινωνίας D2D

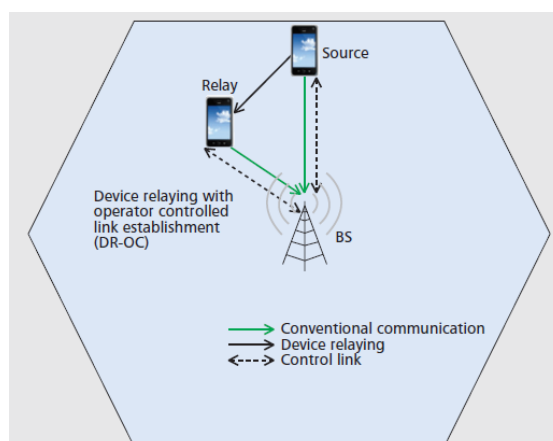
Συστημάτων

Στην ενότητα αυτή θα επικεντρωθούμε στις διαφορετικές μεθόδους μετάδοσης δεδομένων, στο Video caching, στα μέσα αποθήκευσης και την ασφάλεια που μπορεί να προσφέρουν τα καινούργια δίκτυα.

2.1 Τρόποι Επικοινωνίας Και Multicast

Υπάρχουν κάποιες κατηγορίες όσον αφορά τους τρόπους επικοινωνίας και αυτοί είναι:

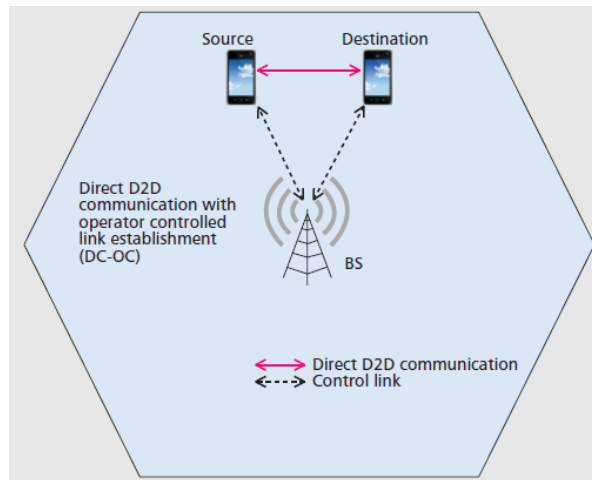
1. Αναμετάδοση μέσω συσκευής με εγκαθίδρυση ζεύξης ελεγχόμενη από τον πάροχο (DR-OC Device relaying with operator controlled link establishment) όπου μία συσκευή στην άκρη του δικτύου επικοινωνεί με τον BS μέσω relays.



Εικόνα 2 Αναμετάδοση μέσω συσκευής με εγκαθίδρυση ζεύξης ελεγχόμενη από τον πάροχο

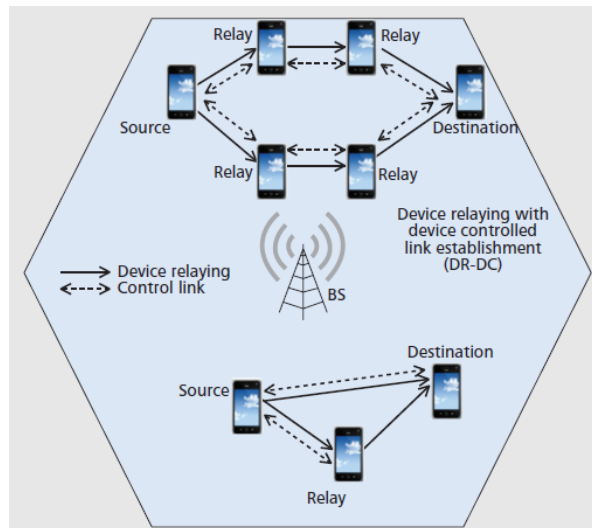
2. Απευθείας επικοινωνία μεταξύ των συσκευών D2D με εγκαθίδρυση ζεύξης ελεγχόμενη από τον πάροχο (DC-OC Direct D2D

communication with operator controlled link establishment) εδώ η επικοινωνία γίνεται μεταξύ πομπού και δέκτη χωρίς την βοήθεια του BS αλλά με την παροχή κάποιου συνδέσμου από των διαχειριστή.



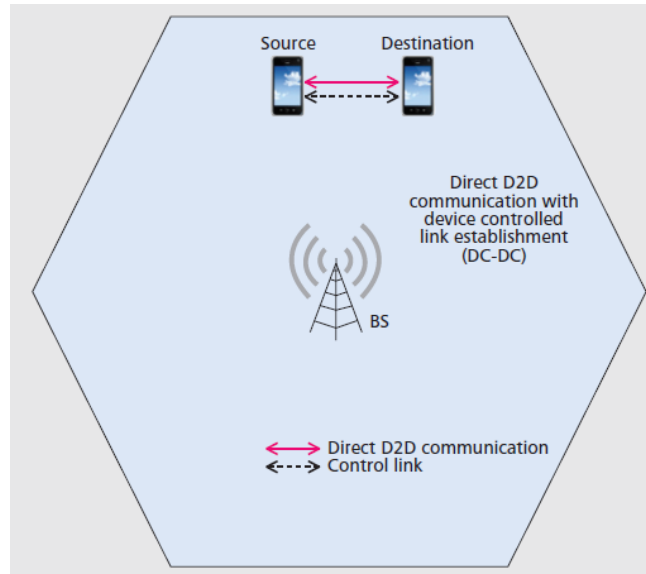
Εικόνα 3 Απευθείας επικοινωνία μεταξύ των συσκευών D2D με εγκαθίδρυση ζεύξης ελεγχόμενη από τον πάροχο

3. Αναμετάδοση μέσω συσκευής με εγκαθίδρυση ζεύξης ελεγχόμενη από την συσκευή (DR-DC Device relaying with device controller link establishment). Εδώ ο πομπός και ο δέκτης είναι υπεύθυνοι για την μεταξύ τους επικοινωνία μέσω relays.



Εικόνα 4 Αναμετάδοση μέσω συσκευής με εγκαθίδρυση ζεύξης ελεγχόμενη από την συσκευή

4. Απευθείας επικοινωνία μεταξύ των συσκευών D2D με εγκαθίδρυση ζεύξης ελεγχόμενης από την συσκευή (DC-DC Direct D2D communication with device controller link establishment). Εδώ η επικοινωνία γίνεται απευθείας μεταξύ πομπού και δέκτη όμως υπάρχει κίνδυνος παρεμβολών (5).



Εικόνα 5 Απευθείας επικοινωνία μεταξύ των συσκευών D2D με εγκαθίδρυση ζεύξης ελεγχόμενη από την συσκευή

Σε αυτόν τον τύπο επικοινωνίας όμως προκύπτουν προβλήματα από την άμεση επικοινωνία των κόμβων μεταξύ τους όπως είναι η ασφάλεια της ιδιωτικότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί οι D2D επικοινωνίες είναι πιο ευπαθείς με αποτέλεσμα να δέχονται ηλεκτρονικές επιθέσεις και απειλές. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να λυθούν εάν υπάρχει κλειστή πρόσβαση στις συσκευές που θέλουν να επικοινωνήσουν με άλλες συσκευές οι οποίες θα υπάρχουν σε κάποια αξιόπιστη λίστα. (5). Μελετώνται επίσης το κόστος των SBS και οι παράμετροι των περιορισμών προσωρινής αποθήκευσης, της κατανομής της χωρητικότητας αποθήκευσης των SBS, το μέγεθος του καταλόγου περιεχομένου, η ένταση της ζήτησης και το σχήμα της ζήτησης (7).

Το caching και το multicast είναι τεχνολογίες που στοχεύουν στην αντιμετώπιση της εκρηκτικής ζήτησης δεδομένων ελαχιστοποιώντας τις ενεργειακές δαπάνες. Από την μία ακολουθούνται πολιτικές κρυπτογράφησης στην προσωρινή μνήμη που διασπούν τα δημοφιλή αρχεία στην άκρη του ασύρματου δικτύου (wireless edge) όπως στα picocells και femtocells μειώνοντας την απόσταση μεταξύ του περιεχομένου και του χρήστη που το ζητάει. Από την άλλη, η ζήτηση ιδίων αρχείων που γίνονται σε κοντινούς χρόνους συγκεντρώνονται και εξυπηρετούνται μέσω μίας κοινής πολυεκπομπής (8). Το edge caching σε BS για την ελαχιστοποίηση του κόστους μετάδοσης εξετάζοντας την κυκλοφορία του δικτύου μέσω της D2D επικοινωνία επικεντρώνεται σε τρία σημεία: ένα πλαίσιο με κατανομημένη BS caching, επίδραση της D2D λειτουργίας και η εκτίμηση του κόστους στο caching (9). Εξετάζεται το πρόβλημα της υπερφόρτωσης του backhaul σε Small Cell Networks (SCN) στην οποία η προληπτική αποθήκευση παίζει κρίσιμο ρόλο. Τα SBS έχουν μεγάλη χωρητικότητα αλλά οι δεσμοί backhaul έχουν περιορισμένη χωρητικότητα. Η αποθήκευση των αρχείων

γίνεται με βάση την δημοφιλία (υψηλότερη πρώτα) μέχρι να επιτευχθεί η χωρητικότητα αποθήκευσης (10).

2.2 Video Caching

Στο YouTube υπάρχουν βίντεο με μεγάλη δημοφιλία και άλλα όχι τόσο δημοφιλή. Στόχος είναι η μείωση του backhaul με αντικατάσταση των femto base station με Small Base Station (SBS) με χαμηλό εύρος ζώνης και υψηλή χωρητικότητα αποθήκευσης έτσι ώστε να αποθηκεύονται τα δημοφιλή βίντεο. Οι σταθμοί βάσης femto δεν διαθέτουν κρυφή μνήμη και έτσι διαφοροποιείται από την προσέγγιση με SBS. Υπάρχει περιεχόμενο επαναχρησιμοποίησης όπου πολλοί χρήστες μπορούν να ζητήσουν το ίδιο βίντεο από την προσωρινή μνήμη αντικαθιστώντας το backhaul και αυτό συμβαίνει γιατί τα δημοφιλή αρχεία αποθηκεύονται στην κρυφή μνήμη και είναι πάντα διαθέσιμα από τα τερματικά των χρηστών (UE User Equipment). Ένας ακόμα τρόπος εξοικονόμησης χωρητικότητας είναι η χρήση των έξυπνων συσκευών για D2D επικοινωνία. Είναι μία επικοινωνία που δεν χρειάζεται υποδομή και έχει το πλεονέκτημα ότι οι περισσότερες συσκευές είναι συγκεντρωμένες εκεί που υπάρχει και η ζήτηση. Ένα από τα κύρια εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστεί για αυτού του είδους την επικοινωνία είναι τα κίνητρα που θα παρέχονται στους χρήστες έτσι ώστε, να τους δελεάσουν να παρέχουν βοήθεια σε άλλους χρήστες χωρίς να σκέφτονται την κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας τους (3).

Για να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και να μην χρειάζεται ένας χρήστης να συνδέεται αποκλειστικά με άλλον χρήστη έχουν αναπτυχθεί τεχνικές όπου ένας χρήστης μπορεί να πάρει κομμάτια video από διαφορετικές πηγές. Ο χρήστης αυτός μπορεί να χρησιμοποιήσει τόσο τις κυψέλες όσο και το WiFi για να ζητήσει διαφορετικά κομμάτια ενός βίντεο από διαφορετικές πηγές. Αυτές οι πηγές μπορεί να είναι απομακρυσμένοι διακομιστές βίντεο, τοπικές κρυφές μνήμες σε WiFi σημεία πρόσβασης που το κινητό θα συναντήσει ή γειτονικές συσκευές (1).

Ο χρήστης που ζητάει ένα βίντεο από πολλές πηγές μπορεί να χρησιμοποιήσει τόσο την σύνδεση παρόχου όσο και το WiFi και να ζητήσει διαφορετικά κομμάτια ενός βίντεο από διαφορετικές πηγές ακολουθώντας δύο διαδικασίες:

Η πρώτη είναι η προ-επεξεργασία του βίντεο για βελτιωμένη από-φόρτωση (Video Prefetching for Enhanced Offloading) που ο χρήστης εκμεταλλεύεται την κινητικότητα του για να προβλέψει την καλύτερη απόδοση που μπορεί να έχει. Συγκεκριμένα, ζητάει από τοπικές κρυφές μνήμες hotspots που θα συναντήσει να κάνει την μεταφορά κάποιων τμημάτων του βίντεο, ώστε να είναι άμεσα διαθέσιμα όταν το κινητό συνδεθεί με αυτά τα hotspots.

Η δεύτερη είναι η χρήση πολλαπλών συνδέσεων WiFi για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα (Efficient Utilization of Multirate WiFi links) και

προγραμματισμός για την μεταφορά βίντεο σε πολλαπλούς συνδέσμους WiFi. Ο συγκεκριμένος προγραμματισμός μπορεί να περιλαμβάνει hotspot WiFi και άμεσες συνδέσεις WiFi και καθορίζεται βάσει των ρυθμών μετάδοσης και της απόδοσης ADSL backhaul.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο κύρια στοιχεία, τον διαχειριστή λήψεων και τους παραλήπτες. Ο διαχειριστής λήψεων χρησιμοποιεί πληροφορίες σχετικά με την κινητικότητα του χρήστη και προβλέπει την απόδοση του συστήματος για να καθοδηγήσει τις προσωρινές μνήμες, που βρίσκονται σε hotspots WiFi και θα συναντήσουν το κινητό τηλέφωνο, για να παραλάβουν τα κομμάτια του βίντεο. Ο διαχειριστής λήψεων ελέγχει και συγχρονίζει τους παραλήπτες και είναι υπεύθυνος για την ανακάλυψη γειτονικών συσκευών με τις οποίες το κινητό μπορεί να συνδεθεί με απευθείας χρήση WiFi. Κάθε downloader μεταφέρει κομμάτια του βίντεο από διαφορετική πηγή. Η ροή βίντεο βασίζεται στο TCP, διασπώντας το βίντεο σε πολλαπλά κομμάτια και χρησιμοποιώντας το πρότυπο MPEGDASH. Για να το πετύχει αυτό χρησιμοποιούνται δύο μηχανισμοί που εφαρμόζονται στη ροή βίντεο για κινητούς χρήστες κινητό:

1. *Μεταφορά δεδομένων βίντεο*

Η πρόβλεψη της κινητικότητας παρέχει γνώση για το πόσα WiFi hotspots θα συναντήσει ένα κινητό, τότε θα τα συναντήσει και για πόσο χρονικό διάστημα θα είναι ο κόμβος στην ακτίνα κάλυψης του hotspot. Εκτός από αυτές τις πληροφορίες για την κινητικότητα, υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την εκτιμώμενη κίνηση στα hotspots WiFi και στο κυψελοειδές δίκτυο. Οι πληροφορίες περιλαμβάνουν τόσο την απόδοση για τη μεταφορά δεδομένων από μια απομακρυσμένη τοποθεσία, π.χ. μέσω ενός backhaul ADSL, όσο και την απόδοση για τη μεταφορά δεδομένων από μια τοπική μνήμη cache.

2. *Αποτελεσματική χρήση πολλαπλών συνδέσεων WiFi*

Η κινητή συσκευή (κινητό) μπορεί να μεταφέρει δεδομένα βίντεο μέσω:

- του συνδέσμου hotspot WiFi,
- μέσω του ADSL backhaul,
- από έναν απομακρυσμένο διακομιστή
- μία γειτονική κινητή συσκευή μέσω της απευθείας σύνδεσης WiFi.

Σημαντικό ρόλο σε αυτές τις περιπτώσεις παίζει και ο ρυθμός μετάδοσης που επιτυγχάνεται. Εάν η άμεση ζεύξη WiFi έχει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης από τη σύνδεση hotspot WiFi, τότε το κινητό επιτυγχάνει υψηλότερη απόδοση από το να χρησιμοποιεί μόνο την άμεση σύνδεση WiFi. Από την άλλη πλευρά, εάν η WiFi hotspot σύνδεση έχει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης από τον άμεσο σύνδεσμο

WiFi, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο το hotspot Wi-Fi ή και τα δύο γιατί η μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας λήψης εξαρτάται από τη διακίνηση ADSL. Συγκεκριμένα, το ADSL throughput είναι υψηλότερο από το throughput της σύνδεσης hotspot WiFi, τότε το συνολικό throughput μεγιστοποιείται εάν χρησιμοποιείται μόνο η σύνδεση hotspot WiFi για τη μεταφορά δεδομένων βίντεο από τον απομακρυσμένο διακομιστή. Σε αυτήν την περίπτωση δεν χρησιμοποιείται η απευθείας ζεύξη WiFi. Ωστόσο, αν η ADSL backhaul δημιουργεί την συμφόρηση, δηλαδή το ADSL throughput είναι μικρότερο από το throughput του hotspot Wi-Fi, τότε το συνολικό throughput μεγιστοποιείται εάν χρησιμοποιούνται τόσο οι άμεσοι σύνδεσμοι WiFi hotspot όσο και οι άμεσοι σύνδεσμοι WiFi. Το ποσοστό των δεδομένων που μεταφέρονται στους δύο συνδέσμους που μεγιστοποιεί τη συνολική ροή λήψης εξαρτάται από τις ταχύτητες άμεσης μετάδοσης WiFi hotspot και WiFi και το ADSL throughput (11).

4.5 Μέσα Αποθήκευσης

Υπάρχουν εναλλακτικές πηγές αποθήκευσης που μπορεί να προσφέρει η υπάρχουσα αρχιτεκτονική του δικτύου και πως μπορεί αυτό να το εκμεταλλευτούν τα δίκτυα 5G για να γίνει αποσυμφόρηση του δικτύου λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων. Μία εναλλακτική είναι το caching στο EPC και στο RAN όπου και τα δύο μαζί μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις καθυστερήσεις από τον χρήστη αλλά και από την περιττή πληροφορία που μεταδίδεται μέσω του δικτύου ακόμα και αν αυξηθεί η ζήτηση των δεδομένων. Η αναμενόμενη αρχιτεκτονική των 5G δικτύων θα βασίζεται στην συγκέντρωση των πακέτων μέσα σε έναν μικρό αριθμό EPC. Λειτουργίες προσωρινής αποθήκευσης γίνονται κυρίως στο πλαίσιο των EPC και αποτελούν το mobile CDN (Content Delivery Network) (2).

Υπάρχουν αρχιτεκτονικές για την ανάλυση της χωρητικότητας του δικτύου όταν η επικοινωνία D2D μοιράζεται τους πόρους του καναλιού με κυψελοειδείς συνδέσμους. Αυτή η αρχιτεκτονική αποτελείται από τρεις τύπους συνδέσμων: κυτταρικούς συνδέσμους (cellular link), συνδέσμους D2D και συνδέσμους αναμεταδόσεων (relay links). Μια συνεταιριστική στρατηγική προσωρινής αποθήκευσης, η οποία αποθηκεύει τα αρχεία με τη μεγαλύτερη δημοφιλία σε συσκευές που είναι σε δίκτυο D2D για τη βελτίωση της χωρητικότητας του δικτύου.

Ένα τέτοιο δίκτυο είναι όταν υπάρχει ένα BS σε κάθε κυψέλη όπου οι συσκευές που βρίσκονται μέσα στην κυψέλη επικοινωνούν με το BS απευθείας. Συσκευές που βρίσκονται στην άκρη του δικτύου μπορούν να επικοινωνούν είτε μεταξύ τους για ανταλλαγή αρχείων ή μέσω relays συσκευές που βρίσκονται μέσα στην κυψέλη. Το μοντέλο καναλιού διάδοσης περιέχει απώλεια διαδρομής και εξασθένιση Rayleigh τόσο για τους cellular συνδέσμους όσο και για τους συνδέσμους D2D (4).

Η προσωρινή αποθήκευση στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας έχει αποδειχθεί ωφέλιμη και στα μελλοντικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας θα είναι ετερογενής λόγω της ανάπτυξης διαφορετικών τύπων σταθμών βάσης. Έτσι, το caching μπορεί να αναπτυχθεί σε διάφορα σημεία του κινητού δικτύων. Στο κυψελοειδές σύστημα παλαιού τύπου, το περιεχόμενο που ζητούσε ένας χρήστης το λάμβανε από τον κόμβο CDN Internet που βρισκόταν μακριά από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Εξαιτίας αυτού υλοποιείται το caching στα κινητά δίκτυα. Με την εξέλιξη των σταθμών βάσης και της μονάδας αποθήκευσης χαμηλού κόστους και αναπτύσσοντας τη μνήμη cache οι macro σταθμοί βάσης και οι μικροί σταθμοί βάσης καθίστανται εφικτοί. Στα μελλοντικά δίκτυα 5G, η επικοινωνία D2D δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης σε συσκευές χρηστών που πρόκειται να αξιοποιηθούν για κοινή χρήση του περιεχομένου τους.

Μερικά θετικά του mobile edge network είναι:

- Μείωση της καθυστέρησης
- Ελάττωση του Bandwidth
- Υψηλή ενεργειακή απόδοση
- Υψηλές εγγύτητες
- Χρήση συναφών πληροφοριών

Μερικά από τα ερωτήματα που προκύπτουν είναι ποια σημεία του δικτύου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προσωρινή αποθήκευση. Αυτά είναι:

- MBS (Macro Base Station) Caching

Στα ετερογενή δίκτυα, τα MBS έχουν περισσότερους τομείς κάλυψης και μπορούν να εξυπηρετήσουν περισσότερους χρήστες. Στο backhaul στα βίντεο υπάρχει συνδυασμός προγραμματισμού ασύρματων καναλιών και edge caching. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί η χωρητικότητα των βίντεο και να μειωθεί η πιθανότητα να γίνει διακοπή του βίντεο.

- SBS (Small Base Station) Caching

Τα SBS αναπτύσσονται πιο πυκνά σε μία περιοχή στην επόμενη γενιά ετερογενών δικτύων. Γι' αυτόν τον λόγο αποτελούν μία καλή λύση αφού βρίσκονται κοντά στον χρήστη και παρέχουν υψηλό ρυθμό μετάδοσης.

- Device Caching

Στην D2D επικοινωνία αξιοποιούνται οι πόροι αποθήκευσης των συσκευών. Η QoE (Quality of Experience) των χρηστών μπορεί να είναι βελτιωμένη από την προσωρινή αποθήκευση περιεχομένων σε κινητές συσκευές εάν η στρατηγική προσωρινής αποθήκευσης είναι προσεκτικά σχεδιασμένη (6).

Κάνοντας μία ανασκόπηση της αναδυόμενης τεχνικής κωδικοποιημένης πολυεκπομπής με κρυπτογράφηση, (emerging caching-aided coded multicast technique

) η οποία περιλαμβάνει τα συστήματα τελευταίας τεχνολογίας και τη θεωρητική τους απόδοση. Εστιάζει σε ένα πρόγραμμα CorteXlab, μία από τις λίγες πειραματικές εγκαταστάσεις στα οποία μπορούν να αξιολογηθούν ασύρματα σενάρια επικοινωνίας πολλών χρηστών σε ένα περιβάλλον. Επικυρώνονται τα οφέλη από την κωδικοποιημένη πολυεκπομπή με κρυπτογράφηση μέσω του σχεδιασμού μιας πλήρους λειτουργικής εφαρμογής και δοκιμάζοντας την (1).

4.5 Ασφάλεια

Γενικά στα D2D συστήματα υπάρχουν διάφορα σενάρια με απειλές και απαιτήσεις ασφαλείας. Στη συνέχεια, υπάρχουν λύσεις ασφαλείας αλλά και δύο πλαίσια για μεθόδους ασφαλείας διασταυρούμενης εφαρμογής-φυσικής στρώσης.

Οι απειλές που μπορεί να δεχτεί ένα δίκτυο D2D είναι:

1. *Υποκλοπή (Eavesdropping)*: όταν γίνεται μία D2D επικοινωνία υπάρχει περίπτωση να η επικοινωνία να παρακολουθείται και από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες.
2. *Κατασκευή ή τροποποίηση δεδομένων (Data Fabrication or Modification)*: τα δεδομένα που μεταφέρονται μπορεί να τροποποιηθούν και να μεταβιβαστούν σε άλλους χρήστες χωρίς την έγκριση του εξουσιοδοτημένου χρήστη.
3. *Προστασία ταυτότητας (Identity Impersonation)*: η παραπλάνηση των νόμιμων χρηστών από κακόβουλους χρήστες για να συνδεθούν μαζί τους και να μπορέσουν να τους παραπλανήσουν εκπληρώνοντας τον σκοπό τους.
4. *Επίθεση Free-Riding*: όταν ένας χρήστη λαμβάνει τα δεδομένα που χρειάζεται αλλά δεν τα μεταβιβάζει σε άλλους χρήστες παραβιάζει την δικαιοσύνη και μειώνει την διαθεσιμότητα του δικτύου.
5. *Παραβίαση απορρήτου (Privacy Violation)*: επειδή ένας χρήστης κινητής συσκευής κινείται μπορεί να παραβιαστεί το απόρρητο της τοποθεσίας του. Επίσης, είναι πιθανό τα δεδομένα που στέλνονται να περιέχουν ευαίσθητες πληροφορίες που μπορεί να υπόκλαπουν.

Οι απαιτήσεις ασφαλείας ενός συστήματος που πρέπει να ακολουθούν οι εφαρμογές επικοινωνίας D2D είναι:

1. *Εμπιστευτικότητα και ακεραιότητα δεδομένων*: η εμπιστευτικότητα προστατεύει τα δεδομένα από την αποκάλυψή τους σε μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Διαφυλάσσει τα προσωπικά δεδομένα του

χρήστη. Η ακεραιότητα διασφαλίζει ότι τα δεδομένα δεν μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

2. Έλεγχος ταυτότητας δεδομένων: ελέγχει την πηγή των δεδομένων και εγγυάται ότι είναι από εξουσιοδοτημένο χρήστη.
3. Έλεγχος ταυτότητας οντότητας: εξασφαλίζει ότι οι D2D χρήστες είναι αυτοί που ισχυρίζονται.
4. Non-repudiation: αποτρέπει τους D2D χρήστες να αρνούνται τη μετάδοση ή τη λήψη μηνυμάτων
5. Διαθεσιμότητα: η διαθεσιμότητα του συστήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την συνεργασία των συσκευών. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να υπάρχουν κίνητρα συνεργασίας.
6. Διατήρηση της ιδιωτικής ζωής: Η διατήρηση της ιδιωτικής ζωής είναι μια κρίσιμη απαίτηση ασφάλειας στη σύγχρονη εποχή της πληροφορίας. Οι ειδικές απαιτήσεις θα πρέπει διαφέρουν μεταξύ των εφαρμογών για να μην υπάρχει αμφιβολία ότι εκθέτονται προσωπικά δεδομένα.

Οι λύσεις που προτείνονται για την ικανοποίηση των παραπάνω απαιτήσεων είναι:

1. Τεχνικές κρυπτογραφία: κρυπτογραφία δημόσιου κλειδιού και συμμετρική κρυπτογραφία.
2. Ασφάλεια σε φυσικό επίπεδο: Εξετάζει τα φυσικά χαρακτηριστικά των ασύρματων καναλιών για να αποτρέψει την υποκλοπή μηνυμάτων Η υπάρχουσα έρευνα επικεντρώνεται κυρίως σε τρεις πτυχές: secretary capacity, channel-based key, πιστοποίηση σε φυσικό επίπεδο.
3. Cross-Physical-Application-Layer Security: αυτές οι λύσεις ασφάλειας εξετάζουν τεχνολογίες σε επίπεδο εφαρμογών και φυσικό επίπεδο, ενώ και οι δύο έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην απόδοση ασφαλείας [12].

Πεδίο έρευνας	Σχετικές έρευνες	Συνεισφορά/ Λέξεις κλειδιά
SBS	(7) (8) (10) (3) (6)	cache
D2D	(5) (9) (10) (3) (2) (6) (12) (4) (11)	Communication, device tier, relay, security, link
Πηγές αποθήκευσης	(7) (9) (10) (3) (2) (1) (11)	RAN, EPC user node, battery, SBS, D2D, disk
Caching	(13) (9) (8) (1) (3) (10) (3) (1) (6) (4)	Edge caching, distributed, αποδοτικότητα της προσωρινής αποθήκευσης
Αλγόριθμοι	(7) (8) (9) (3) (13) (11)	ADMM, Randomized rounding, Heuristic, greedy, MWIS, Αλγόριθμος με χρήση την κινητικότητα και την πρόβλεψη throughput για την μεταφορά

		δεδομένων βίντεο
Κατανάλωση ενέργειας	(8) (6) (1)	Αποδοτικότητα , μείωση στην κατανάλωση ενέργειας
Κόστος	(7) (8) (9) (2) (6)	Global, optimal offline, low, ISP, transmission cost
Multicast	(8) (2) (1)	Coded, technique, transmissions,
Ασφάλεια	(5) (6) (12)	Κρυπτογραφία, message authentication, system availability, privacy, threats

Πίνακας 2 Συνοπτικός πίνακας ερευνών.

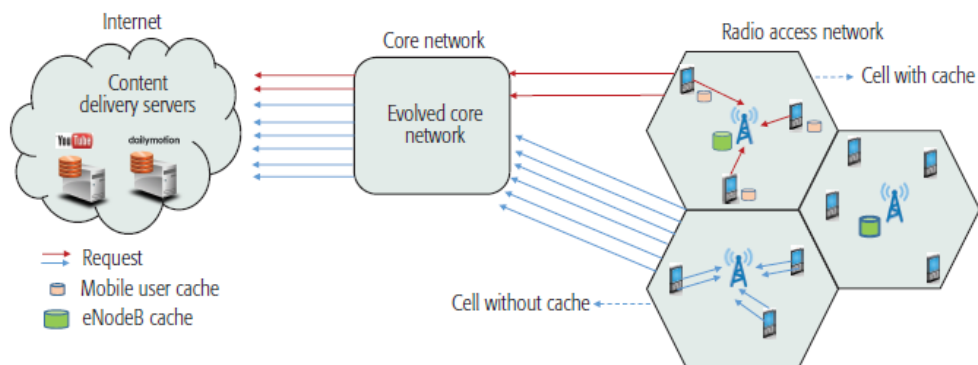
Κεφάλαιο 3

Τοπολογίες Και Μοντέλα D2D Συστημάτων

3.1 SLCN

Υπάρχουν διαφόρων ειδών τοπολογίες, μία από αυτές είναι η SLCN (Shared Link Caching Network Κοινός Ζεύξη Δικτύου Προσωρινής Αποθήκευσης) που μπορεί να εντοπιστεί σε διαφορετικά επίπεδα του δικτύου (1). Σε αυτή την περίπτωση τα eNBs λειτουργούν σαν πηγές για τα Ues μέσω μίας κοινόχρηστης multicast σύνδεσης. Επιπλέον, ένα SLCN μπορεί να σχηματιστεί από έναν κεντρικό εξυπηρετητή (CN) (Core Network) που είναι συνδεδεμένος σε ένα σύνολο eNBs μέσω ενός κοινόχρηστου ασύρματου backhaul. Και στις δύο περιπτώσεις, οι συσκευές των χρηστών έχουν την δυνατότητα προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου.

Ένα SLCN μπορεί να αποτελείται από έναν κόμβο προέλευσης, με πρόσβαση σε μια βιβλιοθήκη F με m binary αρχεία, συνδεδεμένη σε n κόμβους χρηστών μέσω μίας κοινόχρηστης multicast σύνδεση. Κάθε κόμβος χρήστη είναι εφοδιασμένος με cache χωρητικότητα αποθήκευσης ισοδύναμη με αρχεία M και μπορεί να καλύψει έως τις αιτήσεις αρχείου L σύμφωνα με τη διανομή ζήτησης Zipf. Μια multicast σύνδεση είναι ένα κοινό κανάλι στο οποίο κάθε μετάδοση μπορεί να ακουστεί από όλους τους δέκτες. Ο πειραματισμός αποτελείται από έναν κόμβο ραδιοφωνικής πηγής και από $n = 10$ κόμβους ραδιοφωνικών χρηστών. Κάθε χρήστης μπορεί να ζητήσει συγκεκριμένο αριθμό L αρχεία από μια βιβλιοθήκη F με m δυαδικά αρχεία, καθένα μεγέθους 2.8 Mb. Σε κάθε χρήστη υπάρχει μια μνήμη cache αρχείων μεγέθους M .



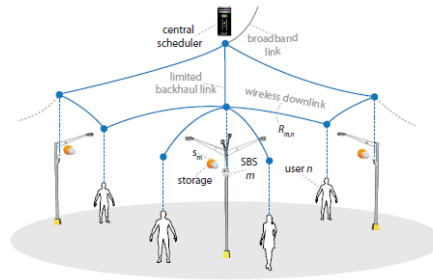
Εικόνα 6 Προσωρινή αποθήκευση στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης: επιπτώσεις στον φόρτο εργασίας του δικτύου και στην κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Ένα σενάριο περιλαμβάνει οι χρήστες σε ρόλο AP που μεταφέρουν πολλαπλά αιτήματα από διαφορετικά Ues και η πηγή είναι το eNB που έχει πρόσβαση στη βιβλιοθήκη περιεχομένου. Η κατανομή του αιτήματος αρχείου προέρχεται από τη διανομή Zipf με την παράμετρο Zipf a : $a = 0$ να επιστρέφει μια ομοιόμορφη κατανομή αιτήματος όπου όσο υψηλότερη είναι η παράμετρος Zipf a , τόσο πιο ανομοιόμορφη είναι η κατανομή αιτήματος. Τα δυαδικά αρχεία χωρίζονται σε ίσα κομμάτια μεγέθους B που αποδίδουν μια βιβλιοθήκη με $mb = 2000$ κομμάτια εστιάζοντας στο κέρδος του επιπέδου MAC που βασίζεται στον υπολογισμό του συνολικού αριθμού των απαιτούμενων byte για την εξυπηρέτηση όλων των Ues.

Υποθέτοντας τον ίδιο αριθμό αιτήσεων L από όλους τους χρήστες, ο κανονικοποιημένος ελάχιστος ρυθμός (NMR normalized minimum rate Κανονικοποιημένη ελάχιστη τιμή) ορίζεται ως $R_t / (L \times \text{μέγεθος αρχείου})$, όπου R_t είναι ο συνολικός αριθμός απαιτούμενων bytes στο επίπεδο MAC για να ικανοποιήσει όλες τις απαιτήσεις των χρηστών. Το NMR είναι γενικά μια μη μειούμενη συνάρτηση που δεν μειώνεται ο αριθμός των χρηστών και μια μειούμενη συνάρτηση του μεγέθους της μνήμης cache, M . Ειδικότερα, για $M = 0$, το NMR είναι ίσο με το συνολικό αριθμό διακριτών αιτημάτων χρήστη. Αυτή η μέτρηση είναι ειδικά επεξηγηματική για το ποσό των πόρων εύρους ζώνης που χρειάζεται ο φορέας εκμετάλλευσης ασύρματης επικοινωνίας για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του δέκτη. Το φορτίο μειώνεται γραμμικά με το μέγεθος μνήμης M . Χωρίς να λαμβάνονται υπόψη η κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση, τα κέρδη της κρυφής μνήμης πολλαπλασιάζονται επιτυγχάνοντας ένα σχεδόν διακριτό NMR. Επίσης, τα αποτελέσματα δείχνουν την αποκωδικοποίηση στους δέκτες των ζητούμενων αρχείων σε NMR πολύ κοντά το θεωρητικό βέλτιστο NMR. Η αποτελεσματικότητα της κωδικοποίησης multicasting επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την παράμετρο Zipf, για αρχεία μνήμης cache συγκεκριμένου μεγέθους M (1).

3.2 SBS-UE

Υπάρχουν απλές τοπολογίες σύνδεσης μεταξύ SBS και UE (User Terminal). Η κύρια συμβολή τους είναι να διατυπώσει μία πολιτική κατανομής προσωρινής μνήμης και να δημιουργήσει έναν κατανεμημένο αλγόριθμο που εφαρμόζεται σε κάθε ενεργοποιημένο SBS. Ορίζεται μία συνάρτηση ως το άθροισμα των τοπικών λειτουργιών της ζήτησης των χρηστών και της τοπολογίας του δικτύου. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιείται αλγόριθμος με την χρήση ADMM. Αυτό επιτρέπει σε κάθε SBS να λύσει το υπο-πρόβλημα του με αυτόν τον επαναληπτικό αλγόριθμο χαμηλής πολυπλοκότητας εξετάζοντας τη ζήτηση των χρηστών, την τοπολογία του δικτύου και τον περιορισμό στην αποθήκευση (7).

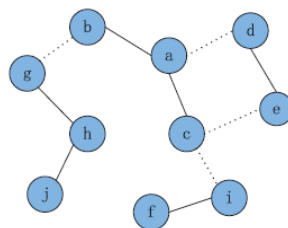


Εικόνα 7 Σενάριο απλής τοπολογίας SBS-UE

3.3 Στατικά-Δυναμικά Δίκτυα

Για ερευνητικούς σκοπούς έχουν χρησιμοποιηθεί δύο τοπολογίες, η στατική και η δυναμική. Στατικά μελετάται ο λόγος εξυπηρέτησης μέσα σε ένα κελί και δυναμικά με την χρήση της θεωρίας πιθανοτήτων στην αναλογία εξυπηρέτησης σε ένα κελί (9).

Σε ένα στατικό δίκτυο, οι θέσεις UE είναι αμετάβλητες, πράγμα που σημαίνει ότι η τοπολογία των U_{es} παραμένει σταθερή. Στη συνέχεια, μπορούμε να αποκτήσουμε το γράφημα τοπολογίας των UE σύμφωνα με την κλίμακα D2D r . Οποιαδήποτε δύο U_{es} μπορεί να μην επικοινωνούν λόγω της παρεμβολής άλλων συνδέσμων D2D σύμφωνα με το εύρος παρεμβολών R . Όπως φαίνεται στην Εικόνα 8, η σταθερή γραμμή μεταξύ U_{es} σημαίνει ότι τα δύο U_{es} επικοινωνούν μεταξύ τους D2D, ενώ η διακεκομμένη γραμμή σημαίνει ότι βρίσκονται σε περιοχή παρεμβολών του κοντινού UE, αλλά όχι στην περιοχή επικοινωνίας του. Υποτίθεται ότι τα περιεχόμενα που αποθηκεύονται στην cache των U_{es} είναι σταθερά και γνωστά. Κάθε UE ζητά ένα περιεχόμενο στην αρχή ενός χρονικού διαστήματος και θεωρείται ότι αυτή η χρονική διάρκεια είναι αρκετή για τη μετάδοση ενός πλήρους περιεχομένου στους συνδέσμους D2D (9).



Εικόνα 8 Τοπολογία μεταξύ UE.

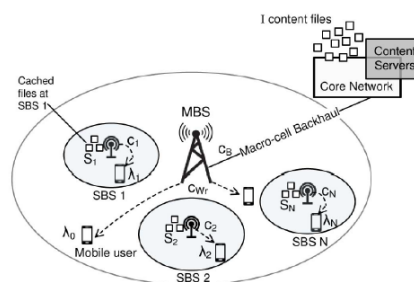
Στα δυναμικά δίκτυα τα UE αλλάζουν συχνά οπότε δεν μπορούμε να υποθέσουμε την τοπολογία του δικτύου όπως στα στατικά δίκτυα. Υποθέτουμε ότι η διανομή των U_{es} γίνεται με μία χωρική κατανομή σημείων (PPP Poisson Point Distribution) (9).

Στο μοντέλο συστήματος αυτής της τοπολογίας έχουμε ένα κυψελοειδές δίκτυο με N σταθμούς βάσης που ονομάζεται set N . Υπάρχουν ορισμένοι χρήστες UE που βρίσκονται στην περιοχή κάλυψης αυτών των BS και απαιτούν L περιεχόμενα με διαφορετικές τιμές δημοφιλίας τα οποία δηλώνονται ως $q_j(s)$ που υποδεικνύει την συχνότητα που U_{es} εξυπηρετούνται από το BS j και ζητούν τα δεδομένα του περιεχομένου s . Τα περιεχόμενα αυτά αποθηκεύονται προσωρινά σε BS και UE. Τα U_{es} μοιράζονται τα αποθηκευμένα αρχεία τους με άλλες συσκευές UE μέσω D2D επικοινωνία. Δύο UE μπορούν να μετακινούνται μέσα σε ένα εύρος r εάν δεν υπάρχει παρεμβολή από άλλη D2D επικοινωνία, με εύρος παρεμβολών R ($R \geq r$). Τα U_{es} μπορούν να επικοινωνούν με το BS που βρίσκεται κοντά του κάνοντας αιτήματα για επικοινωνία και με άλλα BS και μεταφορά αρχείων από αυτά. Τα περιεχόμενα που αποθηκεύονται προσωρινά στα BS είναι γραμμικά τυχαία κωδικοποιημένα όπου προσφέρουν λύσεις για την διαβίβαση και αποθήκευση των δεδομένων. Για κάθε περιεχόμενο s τα δεδομένα χωρίζονται σε M_s πακέτα και τα BS αποθηκεύουν προσωρινά αυτά τα κωδικοποιημένα πακέτα. Για επιτυχημένη αποκωδικοποίηση των κωδικοποιημένων πακέτων $K(s)$ είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τον μέσο όρο του περιεχομένου s . Οι χρήστες αποθηκεύουν όλα τα δεδομένα των περιεχομένων που τους ενδιαφέρουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τα δεδομένα ενός περιεχομένου να μπορούν ανακτηθούν από ένα κοντινό UE που έχει αυτό το περιεχόμενο. Ο σκοπός της αντικατάστασης της κρυφής μνήμης είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος μετάδοσης προσαρμόζοντας το $m_i(s)$ που είναι ο αριθμός των πακέτων περιεχομένου που αποθηκεύεται στο BS i . (9) Αυτό είναι διατυπωμένο ως:

$$\min \sum_{s=1}^L \sum_{j=1}^N q_j(s) p_j(s) \sum_{i=1}^N c_{ij} f_{ij}(s)$$

3.4 HCN

Η download λειτουργία ενός ετερογενούς κυτταρικού δικτύου (HCN Heterogeneous Cellular Network) φαίνεται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9 Ετερογενή Κυτταρικό Δίκτυο

Έχουμε ένα σύνολο N που αποτελείται από N μικρούς σταθμούς βάσης (SBS) που συνυπάρχουν με το κεντρικό σταθμό βάσης (MBS). Το MBS μπορεί να επικοινωνήσει με οποιοδήποτε χρήστη μέσα στην κυψέλη που δεν καλύπτεται όμως από κάποιο του SBS. Σε περίπτωση που κάποιος χρήστης βρίσκεται στην κάλυψη κάποιου SBS εξυπηρετείται από αυτό και όχι από το MBS.

Κάθε n SBS είναι εφοδιασμένο με μια κρυφή μνήμη μεγέθους $S_n \geq 0$ byte που μπορεί να συμπληρωθεί με αρχεία περιεχομένου που λαμβάνονται από το κεντρικό δίκτυο μέσω ενός backhaul συνδέσμου. Δεδομένου ότι οι συνδέσεις backhaul των SBS είναι συνήθως χαμηλής χωρητικότητας, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη περιεχομένου κατά παραγγελία για να εξυπηρετηθούν οι χρήστες. Χρησιμοποιούνται όμως για την κατά περιόδους ανανέωση του περιεχομένου που αποθηκεύεται στις κρυφές μνήμες. Αντίθετα, η ζεύξη backhaul του MBS έχει επαρκή χωρητικότητα για τη λήψη του περιεχομένου που ζητούν οι χρήστες. Ως εκ τούτου, ένας χρήστης μπορεί να εξυπηρετηθεί είτε από το MBS είτε από ένα το SBS, με την προϋπόθεση βέβαια ότι ο χρήστης έχει αποθηκεύσει προσωρινά το απαιτούμενο αρχείο περιεχομένου.

Όλα τα αρχεία έχουν το ίδιο μέγεθος ίσο με 1. Ορίζεται ως J η συλλογή αρχείων με $I = |J|$. Τα SBSs μπορεί να καλύπτουν μία περιοχή αλλά κάθε χρήστης μπορεί να επικοινωνεί με ένα μόνο την φορά ανάλογα με το ποιος του προσφέρει καλύτερες προοπτικές όπως είναι το καλύτερο SNR. Οι αιτήσεις στην μονάδα του χρόνου πρέπει να είναι μεγαλύτερες ή ίσες με το μηδέν ($\lambda_{ni} \geq 0$) στην μέση ζήτηση ενός αρχείου i που προέρχεται από χρήστες που συνδέονται με κάποιο n SBS.

Στην συνέχεια, για να μεταδοθεί το αρχείο i σε πολλούς δέκτες χρησιμοποιείται πολυεκπομπή. Σε αυτή την περίπτωση, οι αιτήσεις των χρηστών συγκεντρώνονται σε έναν πίνακα μικρής διάρκειας και προβάλλονται μέσω μίας ροής πολλαπλής μετάδοσης. Θεωρείται με d (χρονική μονάδα) η διάρκεια αυτού του πίνακα που ονομάζεται περίοδος πολυδιάστατου διαστήματος (multicast period). Σε αυτή την περίοδο πρέπει να προσδιοριστούν ποια SBS λαμβάνουν αιτήματα για την ζήτηση αρχείων. Έτσι, ορίζεται η πιθανότητα p_{ni} όπου θα γίνει τουλάχιστον μία αίτηση για κάποιο i αρχείο από χρήστες που βρίσκονται στην ακτίνα κάλυψης του n SBS κατά την multicast period. Ορίζεται επίσης και μία παράμετρος p_{oi} που είναι η αντίστοιχη πιθανότητα για τους χρήστες που δεν βρίσκονται στην ακτίνα κάλυψης οποιουδήποτε άλλου SBS με περιοχή n_0 . Εάν ο αριθμός των αιτήσεων για κάποιο αρχείο i σε κάποιο n SBS ακολουθεί την κατανομή πιθανότητας Poisson (Poisson Probability Distribution) με την παράμετρο λ_{ni} , έχουμε:

$$p_{ni} = 1 - e^{-\lambda_{ni}d}$$

Όλες οι υπό-περιοχές εκτός από το κενό ορίζονται ως:

$$R = (r: r \subseteq N \cup n_0, r \neq \emptyset)$$

Επίσης, καθορίζεται με q_{ri} η πιθανότητα να δημιουργηθεί τουλάχιστον μία αίτηση για το αρχείο $i \in J$ μέσα σε κάθε μία από τις περιοχές $r \in R$ κατά την διάρκεια μιας multicast period. Για ανεξάρτητα αιτήματα μεταξύ διαφορετικών περιοχών έχουμε:

$$q_{ri} = \prod_{n \in r} (p_{ni}) * \prod_{n \notin r} (1 - p_{ni})$$

Το σύνολο των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται φαίνονται στον Πίνακα 3.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
N	Το σύνολο των SBS
N	Το κάθε SBS (n_1, n_2, \dots)
J	Το σύνολο των αρχείων
I	Το κάθε αρχείο
λ_{ni}	Οι αιτήσεις στην μονάδα του χρόνου
S_n	Η μνήμη cache σε κάθε SBS
D	Multicast period
p_{ni}	Η πιθανότητα να γίνει τουλάχιστον μία αίτηση για κάποιο i αρχείο από χρήστες που βρίσκονται στην ακτίνα κάλυψης του n SBS στην multicast period
p_{0i}	Η πιθανότητα να γίνει τουλάχιστον μία αίτηση για κάποιο i αρχείο από χρήστες που δεν βρίσκονται στην ακτίνα κάλυψης του n_0 SBS στην multicast period
q_{ri}	η πιθανότητα να δημιουργηθεί τουλάχιστον μία αίτηση για το αρχείο $i \in J$ μέσα σε κάθε μία από τις περιοχές $r \in R$ κατά την διάρκεια μιας multicast period

Πίνακας 3 Μεταβλητές για HCN

Κεφάλαιο 4

Αλγόριθμοι D2D Συστημάτων

4.1 ADMM

Έρευνες προτείνουν την κατανομή προσωρινής μνήμης ως βελτιστοποίηση παρέχοντας έναν κατανομημένο αλγόριθμο που εφαρμόζεται σε κάθε SBS. Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται στο ADMM (Alternating Direction Method of Multipliers) (Σημείωση 1) όπου εφαρμόζει τυχαίες επαναλήψεις που οδηγούν σε χαμηλή πολυπλοκότητα. Ένα από τα θετικά αυτού του αλγορίθμου είναι ότι δεν υπάρχει συντονισμός μεταξύ των SBS λύνοντας το πρόβλημα κατανομής (7).

Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου καθορίζεται κυρίως από τον αριθμό των επαναλήψεων και τον αριθμό των αρχείων στην βιβλιοθήκη, οπότε έχουμε $O(kF)$, όπου k είναι ο επαρκής αριθμός επαναλήψεων για την ικανοποίηση των βέλτιστων τιμών με ακρίβεια και F το μέγεθος της βιβλιοθήκης. Πράγματι, οι τιμές του k εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους, όπως η κατανομή της χωρητικότητας αποθήκευσης, το μέγεθος της βιβλιοθήκης, τη ζήτηση και το σχήμα της ζήτησης. Αριθμητικά οι παράμετροι φαίνονται στον πίνακα 3.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΑΡΧΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ
A	Παράμετρος κατανομής αποθήκευσης	0.1
F	Μέγεθος βιβλιοθήκης	128 περιεχόμενα
Λ	Ένταση ζήτησης	64 αιτήματα/δευτερόλεπτο
B	Μορφή ζήτησης	0.1
M	Αριθμός SBSs	8
N	Αριθμός χρηστών	128
Tα	Μέγιστος χρόνος δημιουργίας ζήτησης	128 δευτερόλεπτα
S_m	Αποθήκευση στο SBS m	0~F Mbit
η_m	Συντελεστής κόστους του SBS m	2

Πίνακας 4 . Αριθμητικές παράμετροι του αλγορίθμου βασισμένο σε ADMM.

- 1) Όρισε τα x_{mj} και π_m στις αρχικές τιμές x_{mj}^0 και π_m^0
- 2) Επανάληψη $k+1$
 - a. Κάθε SBS $m=1, \dots, M$ αποφασίζει αν θα αποθηκεύσει προσωρινά ή όχι το περιεχόμενο, υπολογίζοντας κάθε συνιστώσα του x_{mj}

$$x_{mj}^{k+1} = \left[x_{mj}^k - \frac{1}{\alpha_{mj}^2} \left[\frac{1}{\rho} (\eta_m (1 - d_{mj}) + \alpha_{mj} \pi_m^k) + \frac{\alpha_{mj} r_m(x^k)}{d(m)} \right] \right]$$

- b. Κάθε SBS $m=1, \dots, M$ ενημερώνει τον πολλαπλασιαστή Lagrangian του περιορισμού

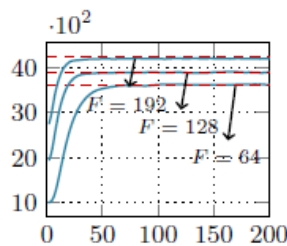
$$\pi_m^{k+1} = \pi_m^k + \frac{\rho}{d(m)} r_m(x^{k+1})$$

- 3) Για κάθε SBS ξεχωριστά, εάν ο περιορισμός εξακολουθεί να παραβιάζεται, αύξησε το k και πήγαινε το βήμα 2. Αλλιώς το m SBS αποθηκεύει τα αρχεία όπως δίνεται από το x_{mj} , $j=1, \dots, F$

Σημείωση 1 Αλγόριθμος κατανομής προσωρινής μνήμης με την χρήση ADMM

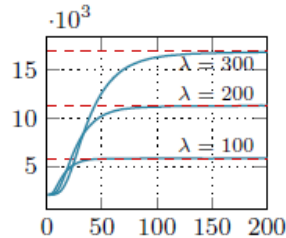
Το κόστος μειώνεται με την αύξηση του α (οι τιμές που δοκιμάστηκαν 0.1, 0.4, 0.8), καθώς εξυπηρετούνται λιγότερα περιεχόμενα από το κεντρικό δίκτυο μέσω backhaul συνδέσεων.

Για τιμές του F 64, 128, 192 δείχνει ότι οι backhaul συνδέσεις αυξάνονται όσο αυξάνεται ο αριθμός του περιεχομένου. Επίσης, λόγω του περιορισμένου αποθηκευτικού χώρου στα SBSs το μεγαλύτερο μέρος του περιεχομένου εξυπηρετείται με backhaul ζεύξεις. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός του περιεχομένου ο αλγόριθμος κάνει λιγότερες επαναλήψεις με αποτέλεσμα να έχουμε καλύτερη προσέγγιση εκτός σύνδεσης.



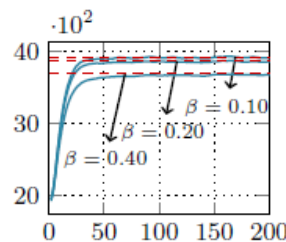
Εικόνα 10 Αύξηση των backhaul συνδέσεων με την αύξηση του περιεχομένου

Για τιμές του λ 100, 200, 300 μας δείχνει ότι, η υψηλή ένταση της ζήτησης στο δίκτυο έχει υψηλή κίνηση στους συνδέσμους backhaul λόγω του γεγονότος ότι τα αιτήματα για τα περιεχόμενα που δεν είναι αποθηκευμένα ικανοποιούνται μέσω συνδέσμων backhaul και όχι με τις κρυφές μνήμες των SBS.



Εικόνα 11 Υψηλή ζήτηση, υψηλή κίνηση στους backhaul συνδέσμους

Για τιμές του β 0.1, 0.2, 0.4 έχουμε ότι το συνολικό κόστος είναι υψηλότερο για μικρές τιμές και μειώνεται όσο μειώνονται οι τιμές του β . Όταν η παράμετρος β είναι μικρή, τα περισσότερα αιτήματα δημιουργούνται για ένα μικρό υποσύνολο περιεχομένων. Έτσι, τα περισσότερα αιτήματα εξυπηρετούνται τοπικά από τα SBS όταν αυτά τα περιεχόμενα αποθηκεύονται προσωρινά, χωρίς τη χρήση συνδέσμων backhaul.



Εικόνα 12 Με την μείωση των τιμών του β μειώνεται το κόστος

Γενικά, τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος αποδίδει καλά από την άποψη της σύγκλισης και απαιτεί λιγότερες επαναλήψεις καθώς ο αριθμός των περιεχομένων στην βιβλιοθήκη αυξάνεται (7).

4.2 Greedy

Στον συγκεκριμένο αλγόριθμο πρώτα προσδιορίζεται μια ομάδα αλγορίθμων Placement (τοποθέτησης) και Delivery (παράδοσης) που περιλαμβάνει τόσο τα αποκεντρωμένα όσο και τα συστήματα ομαδοποίησης ως ειδικές περιπτώσεις. Αποδίδουν ένα χαμηλότερο όριο στις επιδόσεις της αναγνωρισμένης ομάδας. Επιπλέον, για να επιτευχθεί το κατώτατο όριο, παρουσιάζουν έναν νέο αλγόριθμο παράδοσης που ακολουθεί πλήρη πολυεκπομπή (13).

Υπάρχει ένας διακομιστής και K χρήστες που συνδέονται μέσω ενός συνδέσμου botton-neck. Υπάρχουν N αρχεία $N = (W_1, W_2, \dots, W_N)$ στο διακομιστή, που το καθένα είναι μεγέθους F bits. Οι χρήστες υποδηλώνουν με $K = 1, 2, \dots, K$. Κάθε χρήστης είναι εφοδιασμένος με μνήμη cache μεγέθους MF , όπου $M \in [0, N]$. Το

αρχείο W_i ζητείται από ένα χρήστη με πιθανότητα p_i , το οποίο είναι ανεξάρτητο μεταξύ των διαφορετικών χρηστών. Αναφέρουμε την παράμετρο $p = (p_1, p_2, \dots, p_N)$ ως δημοφιλία.

```

procedure SET GREEDY DELIVERY ( $d_1, d_2, \dots, d_K$ )
  for  $s=K, K-1, \dots, 1$  do
    for  $S \subset K, |S| = s$  do
       $l_s = \min_{k \in S} |U_{k, S \setminus \{k\}}|;$ 
      if  $l_s > 0$  then
        Server sends  $\bigoplus_{k \in S} W_{d_k, S \setminus \{k\}};$ 
      end if
    end for
  end for
end procedure

```

Σημείωση 2 Αλγόριθμος greedy κωδικοποιημένη παράδοση

Το σύστημα λειτουργεί σε δύο χωριστές φάσεις:

- 1) Placement phase (φάση τοποθέτησης): Ο διακομιστής συμπληρώνει την προσωρινή μνήμη κάθε χρήστη με μερικά κομμάτια των αρχείων. Ο περιορισμός είναι ότι τα συνολικά bits που αποθηκεύει κάθε χρήστης δεν μπορούν να υπερβούν τα bits MF του μεγέθους μνήμης. Συγκεκριμένα, ο διακομιστής δεν γνωρίζει το αίτημα των χρηστών σε αυτή τη φάση, δηλαδή τα κομμάτια της προσωρινής μνήμης των χρηστών δεν εξαρτώνται από το αίτημά τους.
- 2) Delivery phase (φάση παράδοσης): που κάθε χρήστης ζητά ένα αρχείο από το N . Το αίτημα από $d = (d_1, d_2, \dots, d_K)$, δηλαδή ο χρήστης k ζητά το αρχείο W_{d_k} . D_1, \dots, D_K και αυτό κατανέμεται με τον ίδιο τρόπο σύμφωνα με το

$$P(d_k = i) = p_i \quad k = 1, 2, \dots, K$$

Ο αλγόριθμος (Σημείωση 2) αποτελεί ένα νέο αλγόριθμο παράδοσης περιεχομένου, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως greedy coded delivery (SGD). Η βασική ιδέα της SGD είναι όταν επισκέπτεται το $S \subset K$, να απαιτείται όλοι οι χρήστες του S να έχουν δεδομένα προς αποστολή. Σε περίπτωση που κάποιος χρήστης του S δεν έχει αρκετά bits για να στείλει σε συνεργασία με άλλους, τότε θα επισκεφθεί το επόμενο υποσύνολο και τέλος τα bits που έχουν μείνει για τους χρήστες του S θα τους επισκεφτούν ξανά όταν επισκέπτονται κάποιο υποσύνολο του S .

Το σύνολο $U_{k,S \setminus \{k\}}$ σχηματίζεται από τα bits που

(I) προορίζονται για το χρήστη k .

(II) δεν έχουν σταλεί προηγουμένως.

(III) μπορεί να καλύψει το $S \setminus \{k\}$.

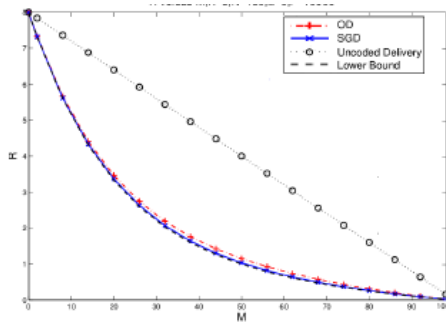
Το σύνολο $W_{d_k, S \setminus \{k\}}$ αποτελείται από τα πρώτα l_s bits στο $U_{k, S \setminus \{k\}}$ για κάθε χρήστη k στο τρέχον σύνολο S .

Εστιάζουν κυρίως σε δύο περιπτώσεις: $F \gg 2^K$ και $F \ll 2^K$. Στο $F \gg 2^K$ δείχνει αρκετά μεγάλο F , το οποίο είναι σύμφωνο με τις θεωρητικές υποθέσεις ενώ για $F \ll 2^K$ είναι μια πιο πρακτική περίπτωση όταν το K είναι μεγάλο. Για να επιτευχθεί ο ίδιος μέσος ρυθμός, το SGD χρειάζεται μικρότερο F . Στην πράξη, αν σκεφτούμε ότι το μέγεθος ενός αρχείου είναι σταθερό, τότε ένα αρχείο χωρίζεται σε τμήματα F του μοντέλου. Η μείωση του F μπορεί να μειώσει την πολυπλοκότητα του συστήματος και να μειώσει την ποσότητα πλευρικών πληροφοριών που ανταλλάσσονται μεταξύ του διακομιστή και των χρηστών.

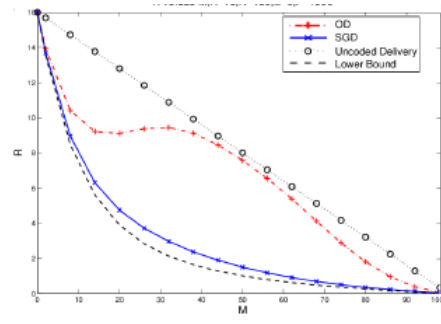
Συγκρίνοντας την OD (original delivery) με την SGD (Greedy Code Delivery) στο πλαίσιο του OP (Original Placement). Για το $F \gg 2^K$, όρισαν $K = 8$, $F = 10000$ ενώ για την περίπτωση $F \ll 2^K$, όρισαν $K = 16$, $F = 1000$. Και για τις δύο περιπτώσεις ισχύει $N = 100$.

Για $F \gg 2^K$ η SGD μπορεί να προσεγγίσει τα όρια γρηγορότερα. Αυτό επιτυγχάνεται γιατί το SGD χρειάζεται μικρότερο F . Στην πράξη, το μέγεθος ενός αρχείου είναι σταθερό, οπότε ένα αρχείο χωρίζεται σε τμήματα F του μοντέλου. Η μείωση του F μπορεί να μειώσει την πολυπλοκότητα του συστήματος και να μειώσει την ποσότητα πλευρικών πληροφοριών που ανταλλάσσονται μεταξύ του διακομιστή και των χρηστών. Εικόνα 12

Για $F \ll 2^K$, το SGD μπορεί να ξεπεράσει σημαντικά το OD, δεδομένου ότι ο νόμος μεγάλων αριθμών δεν ισχύει. Τα κενά μεταξύ της μη κωδικοποιημένης καμπύλης και των κωδικοποιημένων καμπυλών υποδηλώνουν το κέρδος από την κωδικοποίηση. Για το OD, όταν το $M = N$ είναι περίπου $1/2$, είναι το πιο δύσκολο να επωφεληθεί από την κωδικοποίηση. Σε αυτή την περίπτωση, τα μεγέθη των συνόλων που είναι ζεύγη είναι κυρίως γύρω από το $K/2$, και υπάρχουν τουλάχιστον $\binom{K}{K/2}$ τέτοια σύνολα. Επομένως, σύνολα δυαδικών ψηφίων που προορίζονται για διαφορετικούς χρήστες δεν έχουν πιθανότητα να είναι ίδια, γεγονός που παραβιάζει την συνεταιριστική συνθήκη στο OD. Εικόνα 13



Εικόνα 13 $F \gg 2^K$



Εικόνα 14 $F < 2^K$

Τα αποτελέσματα προσομοίωσής υποστηρίζουν το γεγονός ότι, ο νέος αλγόριθμος ξεπερνά τον αποκεντρωμένο αλγόριθμο, το κέρδος είναι σημαντικό όταν το μέγεθος του αρχείου είναι πολύ μικρότερο από το $O(2^K)$ (13).

4.3 Επαναληπτικός Αλγόριθμος MWIS

Μελετάται το edge caching σε BS για την ελαχιστοποίηση του κόστους μετάδοσης εξετάζοντας την κυκλοφορία του δικτύου μέσω της D2D επικοινωνία. Επικεντρώνεται σε τρία σημεία: ένα πλαίσιο με κατανεμημένη BS caching, επίδραση της D2D λειτουργίας και η εκτίμηση του κόστους στο caching. Πραγματοποιείται μοντελοποίηση του προβλήματος αντικατάστασης προσωρινής μνήμης με την διαδικασία MDP (Markov Decision Process). Επεξηγηματικά, προτείνεται μία στρατηγική αντικατάστασης κατανεμημένης cache βασισμένη στην Q-learning για την αντικατάσταση της προσωρινής μνήμης στα BS σύμφωνα με την δημοφιλία των αρχείων και το κόστος μετάδοσης μεταξύ των BS. Στα κυψελοειδή δίκτυα τα BS καθορίζουν την αντικατάσταση της κρυφής μνήμης με κατανεμημένο τρόπο. Στους Q-learning αλγόριθμους αυτό γίνεται με βάση μία στρατηγική αντικατάστασης κατά την οποία το άθροισμα των στοιχείων οποιασδήποτε ενέργειας πρέπει να είναι μηδέν επειδή ο χώρος προσωρινής αποθήκευσης στα BS είναι περιορισμένος. Ο αλγόριθμος Q-learning θεωρείται ως μέθοδος ασύγχρονου δυναμικού προγραμματισμού (DP Dynamic Programming) και παρέχει την ικανότητα να ενεργούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στους Markov τομείς αντιμετωπίζοντας τις συνέπειες των ενεργειών ¹. Μόνο στα BS που αποκτά τα πακέτα λαμβάνει χώρα η μετάβαση της κατάστασης. Κατά τη διάρκεια της μετάδοσης τα BS δεν αντικαθιστούν τα δεδομένα προσωρινής αποθήκευσης (9).

Στα στατικά δίκτυα προτείνουν έναν επαναληπτικό αλγόριθμο MWIS (Σημείωση 3) για να προσδιορίσουν την πιθανότητα ότι κάθε ζεύξη μπορεί να είναι ενεργός και στη συνέχεια να υπολογιστεί το $p_j(s)$ αναλόγως.

¹ Technical Note Q-Learning Machine Learning CHRISTOPHER J.C.H. WATKIN, PETER DAYAN

1. Let $CG_j=(V_j, E_j, W_j)$ and $B=\emptyset$ where the weights $w_k \in W_j$ for each link $k \in V_j$ are calculated according to $w_k = \sum_{s \in S_k} q_j(s)$
2. Obtain the MWIS C of the conflict graph CG using the *GWMIN2* algorithm, add M into B , and then delete C from V and corresponding edges related to the vertices in C from E
3. Update the weights:

$$\hat{w}_k = \begin{cases} \hat{w}_k & k \in B \setminus C \\ w_k & k \in C \\ w_k \prod_{\substack{l \in N(k) \\ l \in B}} (1 - w_l) & k \notin B \end{cases}$$

where $N(k)$ denotes the neighbor vertices set of k . Especially, if $N(k) \in \emptyset$ or $\forall l \in N(k), l \in B$ we set $\hat{w}_k = w_k$.

4. Return to 2), until $V=\emptyset$.
5. Calculate $p_j(s)$. We first calculate the weight for each content s as follows:

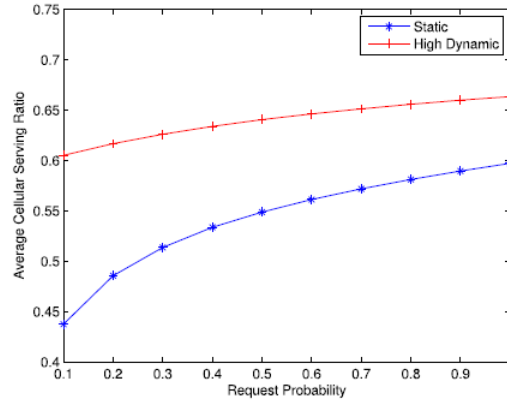
$$\hat{w}_k(s) = \begin{cases} \frac{q_j(s)}{\sum_{s \in S_k} q_j(s)} \hat{w}_k, & s \in S_k \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

Then $p_j(s)$ can be obtained as

$$p_j(s) = 1 - \frac{N_j^s}{N_j} - \frac{\sum_{k \in V_j} \hat{w}_k(s)}{q_j(s) N_j}$$

Σημείωση 3 Επαναληπτικός αλγόριθμος MWIS

Το εύρος των παρεμβολών έχει οριστεί σε $R=r=50m$, το $L=8$ και η δημοφιλία του περιεχομένου θεωρείται με διανομή Zipf. Τα UE είναι 1000 και το εύρος κάλυψης 1000m. Κάθε UE αποθηκεύει δύο περιεχόμενα τυχαία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μέσες τιμές της εξυπηρέτησης αυξάνονται καθώς αυξάνεται η πιθανότητα υποβολής αιτήματος. (Εικόνα 14) Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όταν υπάρχει μεγάλη πιθανότητα αιτήματος, είναι μεγάλη και η πιθανότητα της σύγκρουσης μεταξύ των συνδέσμων D2D και έτσι μειώνεται η πιθανότητα τα ζητούμενα περιεχόμενα να μπορούν να εξυπηρετηθούν μέσω της D2D. Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι ο μέσος λόγος cellular εξυπηρέτησης στα στατικά δίκτυα είναι μικρότερος από εκείνον του δυναμικού δικτύου. Ο κύριος λόγος είναι ότι οι πληροφορίες κρυφής μνήμης στα στατικά δίκτυα των Ues είναι γνωστές και τα BSs μπορούν να προγραμματίσουν τους συνδέσμους D2D για να αποφύγουν τις συγκρούσεις, ενώ είναι δύσκολο να το εφαρμόσουν σε υψηλά δυναμικά δίκτυα (9).



Εικόνα 15 Λόγος εξυπηρέτησης για διαφορετική πιθανότητα αιτήματος

4.4 Randomized Rounding Algorithm

Με την χρήση τεχνικών τυχαιοποιημένης στρογγυλοποίησης, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος προσωρινής αποθήκευσης multicast-aware, ο οποίος επιτυγχάνει καλύτερη απόδοση με την προϋπόθεση ότι μπορούν να παραβιαστούν οι περιορισμοί που υπάρχουν στην χωρητικότητα. Επίσης, γίνεται περιγραφή ενός heuristic αλγόριθμου που παρέχει σημαντικά κέρδη απόδοσης σε σύγκριση με τα υπάρχοντα προγράμματα προσωρινής αποθήκευσης (8).

Το Πρόβλημα προσωρινής αποθήκευσης Multicast-Aware (MACP Multicast-Aware Caching Problem) καθορίζει τις πολιτικές προσωρινής αποθήκευσης και multicast που ελαχιστοποιούν το αναμενόμενο ενεργειακό κόστος σε μια περίοδο multicast:

$$\text{minimize}_{xy} \sum_{n \in N} \sum_{i \in J} (c_s x_{ni}) + \sum_{i \in J} (J_i(y))$$

Προσεγγίζοντας το *Θεώρημα 1* όπου αναφέρει εάν το NP-Hard μπορεί να προσεγγίσει το MACP σε οποιαδήποτε αναλογία καλύτερη από $O(\sqrt{N})$. Το *Θεώρημα 1* έχει μεγάλη σημασία, καθώς αποκαλύπτει πώς η multicast μετάδοση περιπλέκει περαιτέρω το πρόβλημα της προσωρινής αποθήκευσης.

Με βάση το *Θεώρημα 1*, δεν βρέθηκε λύση στο πρόβλημα MACP. Επομένως, μια εναλλακτική προσέγγιση αφήνοντας τη λύση να παραβιάζει τους περιορισμούς της χωρητικότητας της κρυφής μνήμης είναι στην εξίσωση

$$\sum_{i \in J} x_{ni} \leq S_n, \quad \forall n \in N$$

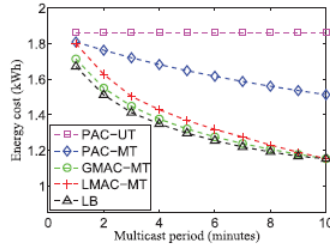
με έναν οριακό παράγοντα. Μια τέτοια παραβίαση περιορισμών αποδεικνύει ότι διευκολύνει σημαντικά τη λύση του προβλήματος. Παρουσιάζουν έναν

αλγόριθμο(Σημείωση 4) που είναι βέλτιστος και εφαρμόζει γραμμική χαλάρωση και τυχαιοποιημένες τεχνικές στρογγυλοποίησης (8).

1. Let (x^*, y^*) be the optimal solution to LR(MACP);
2. Choose $m \in [\frac{1}{2} - \mu, \frac{1}{2} + \mu]$ uniformly at random;
3. Let $A = \{(r, i) : r \in R, i \in J, y_{ri}^* \geq m\}$;
4. Let $B = \{(r, i) : r \in R, i \in J, y_{ri}^* < m\}$;
5. Set $y_{ri} = 1 \forall (r, i) \in A$, and $y_{ri} = 0 \forall (r, i) \in B$;
6. for $n \in N, i \in J$ do
7. if $\exists r : y_{ri} = 0$ and $n \in r$ then
 $x_{ni} \leftarrow 1$
- else
 $x_{ni} \leftarrow 0$
- end
- end
8. Output x, y ;

Σημείωση 4 Randomized Rounding Algorithm

Η γραμμική χαλάρωση (linear relaxation LR MACP) διαφέρει από το MACP γιατί οι μεταβλητές στα x και y μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε πραγματική τιμή μέσα στο $[0, 1]$. Η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί του προβλήματος LR (MACP) είναι γραμμικές σε σχέση με τις μεταβλητές βελτιστοποίησης. Ως εκ τούτου, αυτό λύνεται χρησιμοποιώντας τυπικές τεχνικές γραμμικής βελτιστοποίησης. Πρέπει να υπογραμμίσουμε σε αυτό το σημείο ότι ο αριθμός των μεταβλητών βελτιστοποίησης στο πρόβλημα LR (MACP) είναι μη πολυνομικά (non-polynomial) των αριθμών των SBS N , δεδομένου ότι υπάρχει μια μεταβλητή για κάθε υποσύνολο $r \in R$. Στην πράξη, όμως, ο αριθμός των SBS σε μία μακροκυψέλη είναι μικρή (π.χ. μερικές δεκάδες) και γι αυτό εφαρμόζουν λογισμικά όπως το CPLEX και το Mosek για την αποτελεσματική επίλυση του LR (MACP).



Εικόνα 16 Επιπτώσεις στην περίοδο πολλαπλών μεταδόσεων

Εισάγοντας τιμές των παραμέτρων $\mu \in (0, 1/2)$, ο αλγόριθμος αποφασίζει ομοίωμα ένα τυχαίο κατώφλι $m \in [1/2 - \mu, 1/2 + \mu]$. Στη συνέχεια, επαναλαμβάνει κάθε μεταβλητή y_{ri} σε 1 εάν η (κλασματική) τιμή υπερβαίνει το m (υποσύνολο A), διαφορετικά παίρνει την τιμή 0 (υποσύνολο B). Τέλος, η μεταβλητή x_{ni} θα πάρει την τιμή 1, εάν η μεταβλητή y_{ri} με $n \in r$ στρογγυλοποιήθηκε στο 0, διαφορετικά παίρνει την τιμή 0 (8).

4.5 Heuristic Algorithm

Ένας εναλλακτικός αλγόριθμος (Σημείωση 5) που σε αντίθεση με τον προηγούμενο αλγόριθμο, αυτός βρίσκει μια λύση στο πρόβλημα MACP με άπληστους (greedy) τρόπους, αντί να χρησιμοποιεί μια συστηματική διαδικασία βελτιστοποίησης. Ο προτεινόμενος επαναληπτικός αλγόριθμος αρχίζει με τις κρυφές μνήμες να είναι κενές. Σε κάθε επανάληψη, τοποθετεί ένα αρχείο σε μια προσωρινή μνήμη και σταματάει όταν γεμίσουν όλες οι κρυφές μνήμες (8).

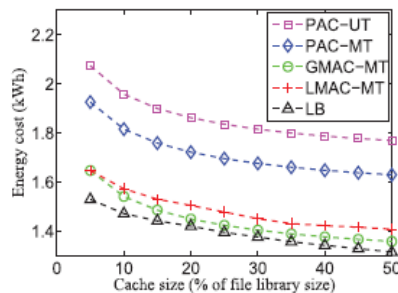
1. $x \leftarrow [0, \dots, 0]$;
2. $I_n \leftarrow 0, \forall n \in N$;
3. $D \leftarrow N \times J$;
4. for $t = 1, 2, \dots, \sum n \in N(S_n)$ do
 5. $(n^*, i^*) \leftarrow \operatorname{argmin}_{(n,i) \in D} f(x, n, i)$;
 - a. $x_{n^*i^*} = 1$;
 - i. $D \leftarrow D \setminus (n^*, i^*)$
 - b. $I_{n^*} \leftarrow I_{n^*} + 1$;
 - c. if $I_{n^*} = S_{n^*}$ then
 - i. for $i \in J$ such that $(n^*, i) \in D$ do
 1. $D \leftarrow D \setminus (n^*, i)$
 - ii. end
 - d. end

Σημείωση 5 Heuristic Algorithm

Όπου, I_n είναι ο αριθμός των αρχείων που έχουν ήδη αποθηκευτεί στην κρυφή μνήμη του n SBS από κάθε επανάληψη του αλγορίθμου, και το (X) δηλώνει το καρτεσιανό γινόμενο (Cartesian product) δύο συνόλων. Το σύνολο D περιλαμβάνει όλα τα ζεύγη (n, i) για τα οποία δεν έχει γίνει ακόμη τοποθέτηση αρχείου i στην προσωρινή μνήμη του n SBS και η c μνήμη δεν έχει συμπληρωθεί ακόμα για αυτό το n . Έστω ότι το $f(x, n, i)$ είναι το ενεργειακό κόστος για την πολιτική caching x , και καθορίζουμε $x_{ni} = 1$. Με αυτό τον τρόπο, το $f(\cdot)$ εκφράζεται μόνο ως συνάρτηση του x . Σε κάθε επανάληψη, ο αλγόριθμος (Σημείωση 5) επιλέγει το ζεύγος $(n^*, i^*) \in D$ με τη χαμηλότερη τιμή κόστους $f(x, n^*, i^*)$, με την προϋπόθεση ότι είναι χαμηλότερη από την προηγούμενη επανάληψη. Αυτό αντιστοιχεί στην τοποθέτηση του αρχείου i^* στην προσωρινή μνήμη του n^* . Εάν η κρυφή μνήμη του n^* γεμίσει, ο αλγόριθμος (Σημείωση 5) αποκλείει όλα τα ζεύγη (n^*, i) $\forall i$ από το D . Με αυτόν τον τρόπο, δεν θα αποθηκευτούν περισσότερα αρχεία στη μνήμη c^* .

Ο αλγόριθμος (Σημείωση 5) τερματίζει σε $\sum_n^N 1^{S(n)}$ επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη αξιολογεί το $f(\cdot)$ μετά από τις τοποθετήσεις υποψηφίων αρχείων $N \cdot I$. Παρά την έλλειψη θεωρητικών εγγυήσεων απόδοσης, ο Αλγόριθμος (Σημείωση 5) εκτελείται καλύτερα από τα υπάρχοντα προγράμματα προσωρινής αποθήκευσης. Επιπλέον, μπορεί να επεκταθεί για να χειριστεί σενάρια όπου πολλαπλά MBSs μοιράζονται έναν backhaul σύνδεσμο και μπορούν να συντονίσουν τις λήψεις (8).

Τα αποτελέσματα των αλγορίθμων όσον αφορά το μέγεθος της προσωρινής μνήμης για κάθε SBS δείχνει ότι όσο αυξάνεται το μέγεθος της μνήμης τόσο μειώνεται το κόστος της ενέργειας και ικανοποιούνται περισσότερα αιτήματα σε τοπικό επίπεδο. Σχετικά με το κόστος μεταδόσεων στο σταθμού βάσης παρατηρούμε ότι διατηρώντας σταθερή την c_{wT} αλλάζουν οι τιμές του c_n ($c_{wT}/1, c_{wT}/2, \dots, c_{wT}/10$) και όσο αυξάνεται ο λόγος c_{wT}/c_n το ενεργειακό κόστος μειώνεται ενώ το κόστος που προκύπτει από την υπηρεσία που προσφέρουν τα SBS μειώνεται (8).



Εικόνα 17 όσο αυξάνεται το μέγεθος της μνήμης μειώνεται το ενεργειακό κόστος

4.6 Αλγόριθμος Με Χρήση Της Κινητικότητας Και Της Πρόβλεψης Throughput Για Την Μεταφορά Δεδομένων Βίντεο

Η διαδικασία για την εκμετάλλευση της κινητικότητας και η πρόβλεψη της απόδοσης για την μεταφορά εμφανίζεται στον Αλγόριθμο (Σημείωση 6), ο οποίος εφαρμόζεται στον διαχειριστή λήψεων του χρήστη. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 4 (11).

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
R_{playout}	μέσος ρυθμός αναπαραγωγής προσωρινής μνήμης βίντεο
T_{nextWiFi}	μέσος χρόνος έως ότου ο κόμβος εισέλθει στο φάσμα του επόμενου WiFi
Current Position	τρέχουσα θέση του video stream
Offset	εκτιμώμενη μετατόπιση του video stream όταν ο κόμβος εισέρχεται στο επόμενο hotspot WiFi
B	ποσότητα δεδομένων βίντεο στο buffer
RateMobile	ταχύτητα με την οποία λαμβάνετε το βίντεο από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας

Πίνακας 5 Μεταβλητές

- 1:if node exits Wi-Fi hotspot then
- 2:Offset $\leftarrow R_{\text{playout}} * T_{\text{nextWi-Fi}}$
- 3:Start caching video stream in next Wi-Fi starting from CurrentPosition+Offset
- 4:RateMobile $\leftarrow R_{\text{playout}} - \frac{B}{T_{\text{nextWi-Fi}}}$
- 5:Download video data from mobile network with rate RateMobile
- 6:else if node enters WiFi hotspot then
- 7:Transfer video data that has not been received up to Offset from original location
- 8:Transfer video data from local cache
- 9:Use remaining time in Wi-Fi hotspot to transfer video data from original Location
- 10:end if

Σημείωση 6 Αλγόριθμος με χρήση την κινητικότητα και την πρόβλεψη throughput για την μεταφορά δεδομένων βίντεο.

Στο συγκεκριμένο, ορίζονται οι ενέργειες του κινητού όταν εξέρχεται από ένα σημείο πρόσβασης WiFi, επομένως έχει μόνο κινητή πρόσβαση (γραμμή 1) και όταν εισέρχεται σε ένα hotspot WiFi (Γραμμή 6). Η κινητικότητα και η πρόβλεψη της απόδοσης επιτρέπουν στο κινητό να καθορίσει πότε θα συναντήσει το επόμενο hotspot WiFi που έχει υψηλότερη απόδοση από τη διακίνηση της κυψέλης. Από τη στιγμή που θα φτάσει στο επόμενο hotspot και στο μέσο ρυθμό αναπαραγωγής του βίντεο, το κινητό μπορεί να εκτιμήσει τη θέση στην οποία πρόκειται να φτάσει η ροή βίντεο (CurrentPosition + Offset) όταν φτάσει στο επόμενο hotspot Wi-Fi (Γραμμή 2). Στη συνέχεια, στέλνει ένα αίτημα στην κρυφή μνήμη στο επόμενο hotspot που θα συναντήσει για να ξεκινήσει η προσωρινή αποθήκευση δεδομένων βίντεο από τη θέση αυτή (Γραμμή 3). Ο ρυθμός αναπαραγωγής του video buffer χρησιμοποιείται επίσης για την εκτίμηση του throughput στην οποία πρέπει να φορτώνει δεδομένα βίντεο ενώ βρίσκεται στο κινητό δίκτυο (Γραμμή 4).

Όταν ο κόμβος εισέλθει σε ένα ενεργό σημείο WiFi, μπορεί να λείπει κάποιο τμήμα του βίντεο από τα δεδομένα που αποθηκεύτηκαν στο hotspot. Αυτό μπορεί να συμβεί εάν, λόγω των χρονικών διακυμάνσεων, ο κόμβος φτάσει στο hotspot WiFi νωρίτερα από ότι είχε αρχικά εκτιμήσει. Στην περίπτωση αυτή, τα δεδομένα που λείπουν πρέπει να μεταφερθούν από την αρχική τοποθεσία του βίντεο (Γραμμή 7), μέσω του συνδέσμου backhaul του hotspot. Επίσης, τα κομμάτια των αποθηκευμένων δεδομένων στο hotspot WiFi μπορεί να είναι

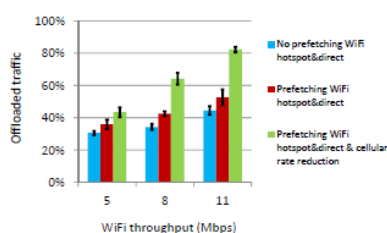
λιγότερα από τα κομμάτια που θα μπορούσε να λάβει ο κόμβος εντός του χρονικού ορίου που βρίσκεται στο εύρος του hotspot. Σε αυτήν την περίπτωση, ο κόμβος χρησιμοποιεί τον εναπομένοντα χρόνο του στο hotspot WiFi για να μεταφέρει δεδομένα, όπως παραπάνω, από την αρχική θέση του βίντεο (Γραμμή 9) (11).

Έχουμε 6 hotspots WiFi και συσκευές WiFi με το απαιτούμενο βίντεο το οποίο το κινητό συναντά στο χρόνο 0, 100, 200, 300, 400 και 500 δευτερόλεπτα. Συγκεκριμένα, στα πειράματα με WiFi direct, υπάρχουν δύο επαφές WiFi και 4 hotspots WiFi: το κινητό συναντά ένα γειτονικό, το οποίο μεταφορτώνει τμήματα του βίντεο σε χρόνο 100 και 300 δευτερόλεπτα, ενώ την ώρα 0, 200, 400 και 500 δευτερόλεπτα το κινητό συναντά ένα hotspot WiFi. Στα πειράματα με hotspot WiFi, τα hotspots συναντώνται στις ώρες 0, 100, 200, 300, 400 και 500 δευτερόλεπτα. Το κινητό είναι σε θέση να κατεβάζει κομμάτια του βίντεο σε κάθε σημείο πρόσβασης είτε από τη γειτονική συσκευή είτε άμεσα από το WiFi για διάρκεια 20 δευτερολέπτων.

Ποσοστό εκφόρτωσης: Τα αποτελέσματα χωρίζονται σε τρεις φάσεις:

- χωρίς προφόρτωση(no prefetching) : Όταν το κινητό εισέρχεται σε ένα hotspot το βίντεο μεταφορτώνεται από έναν απομακρυσμένο διακομιστή χρησιμοποιώντας το μέγιστο ADSL
- προφόρτωση και λήψη δεδομένων βίντεο μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας με τον μέγιστο ρυθμό και
- προφόρτωση και τηλεφόρτωση δεδομένων βίντεο μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας με μικρότερο ρυθμό χρησιμοποιώντας τον Αλγόριθμο 1.

Το ποσοστό της εκφόρτωσης με προεκτάσεις αυξάνεται όταν αυξάνεται η διακίνηση στο WiFi, επαληθεύοντας ότι η άμεση WiFi σύνδεση μπορεί να χρησιμοποιήσει την υψηλότερο WiFi throughput. Χωρίς προεκτάσεις, το ποσοστό της εκφόρτωσης αυξάνεται βραδύτερα λόγω της μοναδικής WiFi σύνδεσης. Επίσης, επιτυγχάνεται υψηλότερο ποσοστό εκφόρτωσης με προαγωγή και μείωση της διακίνησης κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιώντας τον Αλγόριθμο 1.



Εικόνα 18 Ποσοστό αποφόρτωση

Video QoE: Τα κέρδη όταν γίνονται λιγότερες παύσεις είναι υψηλότερα όταν η απόδοση του κινητού είναι μικρότερη. Αυτό οφείλεται στην εμφάνιση περισσότερων παύσεων όταν η κίνηση κινητής τηλεφωνίας είναι μικρότερη. Αυτό συμβαίνει όταν υπάρχει υψηλότερη απόδοση του WiFi που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με προεκτάσεις για να κατέβουν περισσότερα δεδομένα βίντεο και να αποφευχθούν παύσεις πλαισίου. Από την άλλη, όταν δεν χρησιμοποιείται η προεκβολή, ο ρυθμός λήψης βίντεο περιορίζεται από τη μετακίνηση ADSL σε ένα hotspot.

Κεφάλαιο 5

Αλγόριθμοι Αναμεταδοτών (relays)

5.1 Αλγόριθμος LoCo (Low Complexity)

Ο αλγόριθμος LoCo (επιλογής ζεύξης χαμηλής πολυπλοκότητας Low Complexity) βασίζεται στην διάδοση κάποιου αρχείου με την χρήση αναμεταδοτών όπου αποθηκεύεται το αρχείο σε μία ουρά (buffer). Ακολουθώντας κάποιες συνθήκες, όπως είναι εάν η ουρά του buffer είναι γεμάτη ή άδεια, γίνεται η μετάδοση από την πηγή στον αναμεταδότη και αντίστοιχα από τον αναμεταδότη στον προορισμό. Για την μετάδοση από την πηγή στον αναμεταδότη η ουρά του είναι θεμιτό να έχει το μικρότερο μέγεθος ενώ στην περίπτωση του αναμεταδότη προς προορισμό να είναι γεμάτη.

Αυτός ο αλγόριθμος έχει ως στόχο την μείωση των καθυστερήσεων των πακέτων αλλά και την ενίσχυση της απόδοσης δικτύων two-hop. Για τον έλεγχο της απόδοσης του συγκεκριμένου κώδικα συγκρίθηκαν οι τιμές της πιθανότητας διακοπής, της μέσης απόδοσης και της καθυστέρησης.

Το μοντέλο αυτής της εργασίας αποτελείται από μία πηγή S έναν προορισμό D ένα σύμπλεγμα από clusters C και αναμεταδοτών R . Κάθε αναμεταδότης έχει έναν τρόπο αποθήκευσης μέσω buffer με μέγεθος L , ο οποίος δηλώνει τον μέγιστο αριθμό δεδομένων που μπορούν να αποθηκευτούν. Η πηγή θα πρέπει να έχει πάντα δεδομένα προς μετάδοση.

Για να θεωρηθεί επιτυχής η μετάδοση από τον πομπό στον δέκτη θα πρέπει το SNR του δέκτη να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με ένα κατώφλι γ_0 όπου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Έτσι, μια μετάδοση από έναν πομπό i στον αντίστοιχο δέκτη j είναι επιτυχής (χωρίς σφάλματα) εάν το SNR του δέκτη j , που δηλώνεται από το κατώφλι γ_j , είναι μεγαλύτερο ή ίσο με την αρχική δήλωση του γ_0 . Η μετάδοση χωρίζεται σε χρονικά διαστήματα ίσου μήκους και σε κάθε χρονικό διάστημα, η πηγή S ή κάποιος αναμεταδότης R_k επιχειρεί να μεταδώσει ένα πακέτο χρησιμοποιώντας σταθερή στάθμη ισχύος P (14).

$$\gamma_j(P) \triangleq \frac{g_{ij}P}{\eta} \geq \gamma_0$$

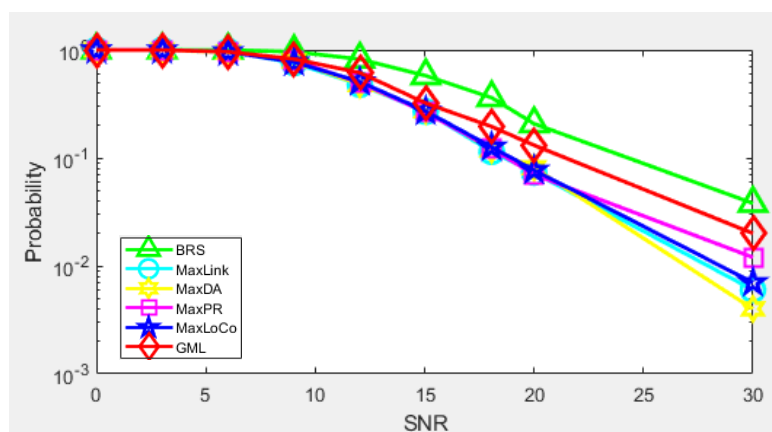
Στην συγκριμένη εργασία συγκρίνεται ο αλγόριθμος LoCo με άλλους αλγορίθμους: BRS (Best Relay Selection), Max-Link, Link Selection, DA Max Link, CRS (Combined Relay Selection Συνδυαστική Επιλογή Αναμεταδότη) (14).

5.2 Αλγόριθμος BRS

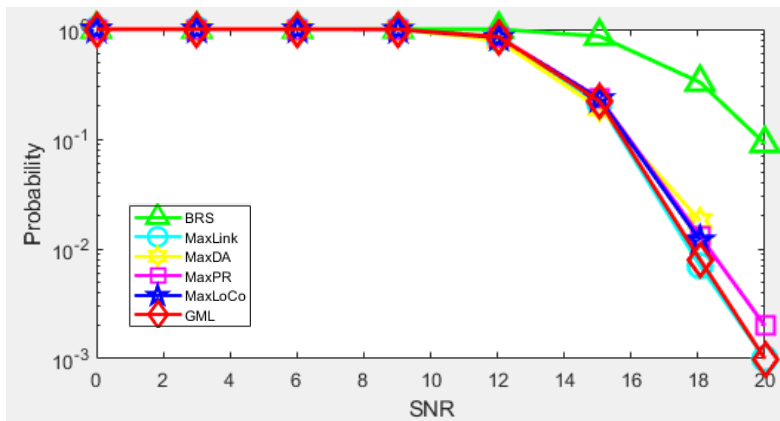
Τα χαρακτηριστικά του BRS είναι ότι το πρωτόκολλο μοιράζεται σε κάθε αναμεταδότη και κάνει μόνο τοπικές μετρήσεις καναλιών ενώ η επιλογή των αναμεταδοτών γίνεται με βάση τις στιγμιαίες συνθήκες του καναλιού σε περιβάλλον slow fading. Για να γίνει η επιλογή του καλύτερου αναμεταδότη με βάση τις στιγμιαίες συνθήκες του καναλιού χρησιμοποιείται το opportunistic selection για γρηγορότερο τρόπο πριν αλλάξει κανάλι και δεν απαιτείται προηγούμενη γνώση της τοπολογίας. Αποτυγχάνει όμως όταν ένας αναμεταδότης δεν μπορεί να ανιχνεύσει ότι υπάρχει κάποιος άλλος αναμεταδότης καταλληλότερο για την προώθηση της πληροφορίας. Επίσης, ακόμα ένα χαρακτηριστικό είναι ότι οι επιβαρύνσεις για την επιλογή του καλύτερου αναμεταδότη είναι ελάχιστες και υπάρχει ισορροπία μεταξύ του χρόνου που προκύπτει από το πρωτόκολλο και την πιθανότητα σφάλματος (15).

Σε αυτόν τον αλγόριθμο χρειάζεται μεγάλο μήκος κύματος λ για να μειωθεί το collision probability και ταυτόχρονα να μην είναι και πολύ μεγάλο για να γίνει γρήγορα η επιλογή του καλύτερου αναμεταδότη πριν αλλάξει κανάλι.

Επειδή, δεν υπάρχουν buffers υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα διακοπής. Εάν αυξηθεί το threshold-buffer size (το κατώφλι για το μέγεθος του buffer) και είναι ο μοναδικός αλγόριθμος με υψηλές τιμές probability. Επίσης, για τον ίδιο λόγο έχουμε και χαμηλό throughput που επηρεάζεται από το buffer size. Δεν επηρεάζεται από τον αριθμό των frames (15).



Εικόνα 19 Probability-SNR με $\text{buffer_Size}=2*\log_2(8)$



Εικόνα 20 Probability-SNR με $\text{buffer_Size}=2*\log_2(32)$

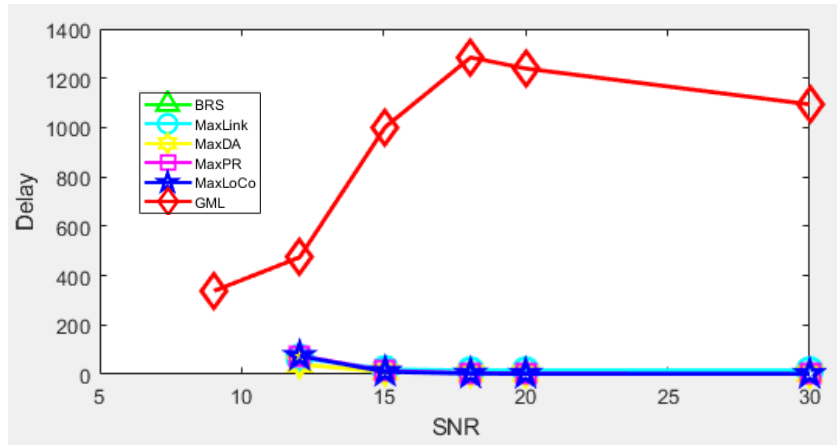
5.3 Αλγόριθμος Max-Link

Το Max-Link είναι ένα πρωτόκολλο επιλογής προσαρμοστικής σύνδεσης (adaptive link selection). Αυτό σημαίνει ότι η επιλογή του αναμεταδότη γίνεται σε κάθε slot ξεχωριστά και επιλέγεται η ισχυρότερη διαθέσιμη ζεύξη είτε για την μετάδοση είτε για την λήψη. Ενώ όταν έχουμε μεγάλο αριθμό relays επιτυγχάνεται κέρδος σε διάφορες καταστάσεις. Η επιλογή του αναμεταδότη εξαρτάται από την ποιότητα της σύνδεσης και την κατάσταση της προσωρινής μνήμης των relay. Παρουσιάζει κέρδος για διπλάσιο buffer από τον αριθμό των αναμεταδοτών (16).

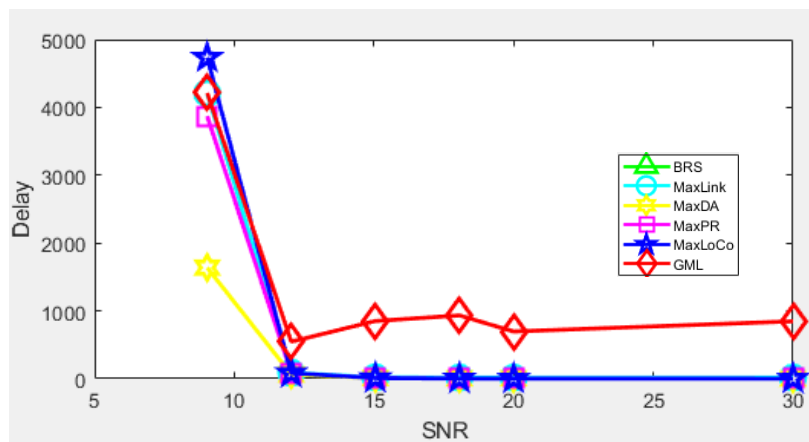
Οι πιθανότητες μετάβασης από το πηγή στον αναμεταδότη εξαρτώνται από την κατάσταση των buffers στα relays και τον αντίστοιχο αριθμό των διαθέσιμων συνδέσεων που συμμετέχουν για την επιλογής αναμετάδοσης. Δηλαδή, εάν ένας buffer είναι γεμάτος κατά την μετάδοση από την πηγή στον αναμεταδότη ή είναι άδειος από τον αναμεταδότη στον προορισμό δεν μπορεί να γίνει μετάδοση.

Όσο αναφορά τα αποτελέσματα που έχουν να κάνουν με την πιθανότητα διακοπής παρατηρούμε ότι επηρεάζεται από τον αριθμό των relays αλλά και το buffer size και αυτό οφείλεται από την Markov chain $(L + 1)^K * (L + 1)^K$ όπου L το μέγεθος του buffer και K ο αριθμός των relays.

Όταν αυξάνεται ο αριθμός των relays, η πιθανότητα επιλογής ενός συγκεκριμένου αναμεταδότη για τη μετάδοση μειώνεται και έτσι η μέση καθυστέρηση αυξάνεται.



Εικόνα 21 Delay-SNR με 2 relays

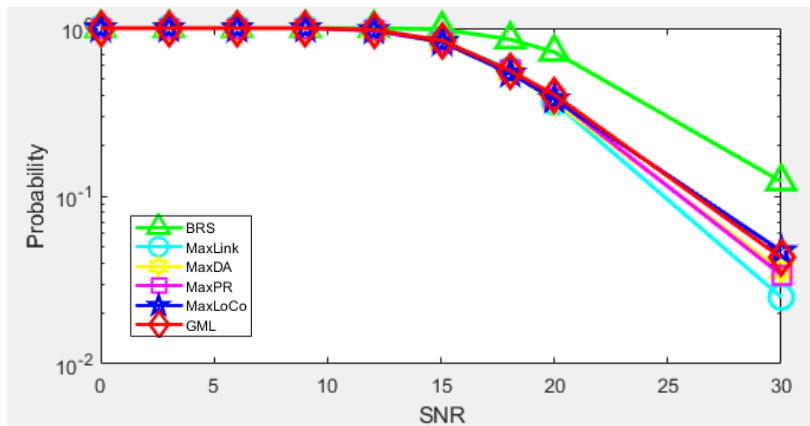


Εικόνα 22 Delay-SNR με 8 relays

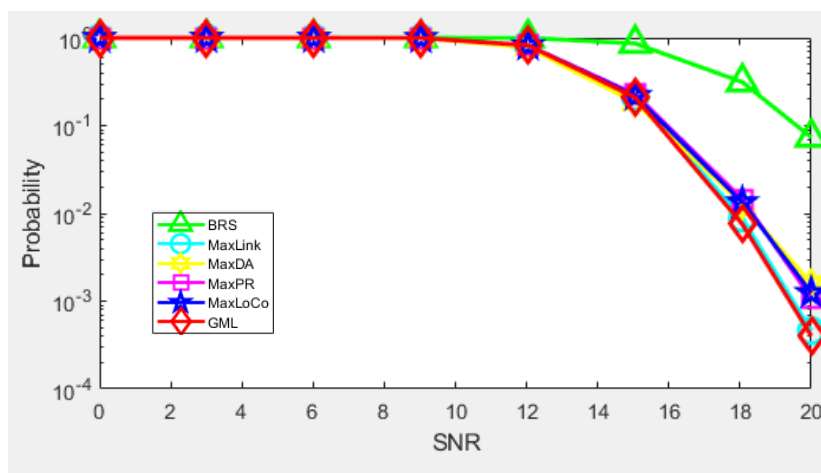
5.4 Αλγόριθμος Link Selection

Στον αλγόριθμο Link Selection η ουρά στους buffers δεν είναι κενές και είναι ισορροπημένες. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή συνδέσμων που έχουν μικρή ουρά δεδομένων κατά την μετάδοση και μεγάλη κατά την λήψη. Γι' αυτό και η επιλογή των relays γίνεται με βάση το μέγεθος του buffer. Όπως και στον προηγούμενο αλγόριθμο με το αν η ουρά του buffer είναι άδεια κατά την μετάδοση ή γεμάτη κατά την λήψη (17).

Στα αποτελέσματα βλέπουμε ότι η καθυστέρηση με βάση το SNR εξαρτάται μόνο από τον αριθμό των relays και όχι από το μέγεθος του buffer. Επίσης, η αύξηση των relays έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες καθυστερήσεις, αλλά μικρότερη πιθανότητα διακοπής. Αυτά τα αποτελέσματα πηγάζουν από το γεγονός ότι τα περισσότερα relays επιτρέπουν περισσότερες επιλογές και συνεπώς τα πακέτα παραμένουν στους buffers για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, αλλά παράλληλα δημιουργείται αυξημένη ποικιλομορφία. Όπως επίσης το γεγονός ύπαρξης μίας ισορροπημένης επιλογής των relays μας δίνει σαν αποτέλεσμα χαμηλότερο probability (17).



Εικόνα 23 Probability-SNR με 2 relays



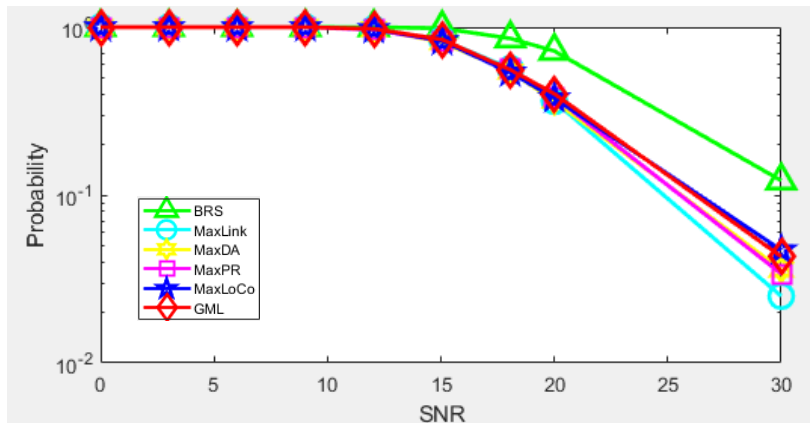
Εικόνα 24 Probability-SNR με 8 relays

5.5 Αλγόριθμος DA Max-link

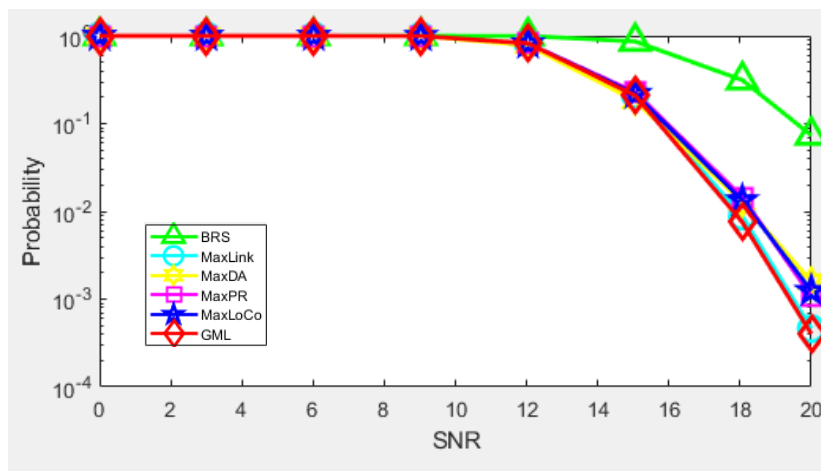
Στον αλγόριθμο DA Max-Link χρησιμοποιείται Buffer State Information (BSI) για την επιλογή relay. Για την ανταλλαγή δεδομένων επιλέγει ο καλύτερος αναμεταδότης με μόνη απαίτηση το buffer να μην είναι γεμάτο κατά την μετάδοση ή άδειο κατά την λήψη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι για ένα μέγεθος buffer $L \leq 3$ έχει μικρότερες καθυστερήσεις από το Max-Link (18).

Η πιθανότητα διακοπής χρησιμοποιεί το μοντέλο Markov Chain MC και δείχνει ότι με την σωστή λειτουργία των buffers στα relays, η απόδοση του συστήματος βελτιώνεται. Η πιθανότητα εξαρτάται από την κατάσταση των buffer των αναμεταδοτών και το σύνολο των διαθέσιμων συνδέσεων που μπορούν να μεταδώσουν με επιτυχία ένα πακέτο. Η πιθανότητα διακοπής του προτεινόμενου αλγορίθμου αναμετάδοσης ορίζεται ως η πιθανότητα διακοπής όλων των διαθέσιμων συνδέσεων. Αυτός ο ορισμός βασίζεται στο γεγονός ότι εφόσον υπάρχει τουλάχιστον μία διαθέσιμη ζεύξη το σύστημα μπορεί να παραδώσει ένα πακέτο.

Καθώς αυξάνεται το μέγεθος του buffer, οι πιθανότητες διακοπής μειώνονται. Επίσης παρατηρείται ότι καθώς το SNR αυξάνεται, οι καθυστερήσεις μειώνονται. Αυτό συμβαίνει επειδή με την αύξηση του SNR, η πιθανότητα διακοπής του συστήματος μειώνεται και γιατί χρησιμοποιούνται μικρότεροι χρόνοι για μία πετυχημένη παράδοση ενός πακέτου (18).



Εικόνα 25 Probability-SNR με 2 relays



Εικόνα 26 Probability-SNR με 8 relays

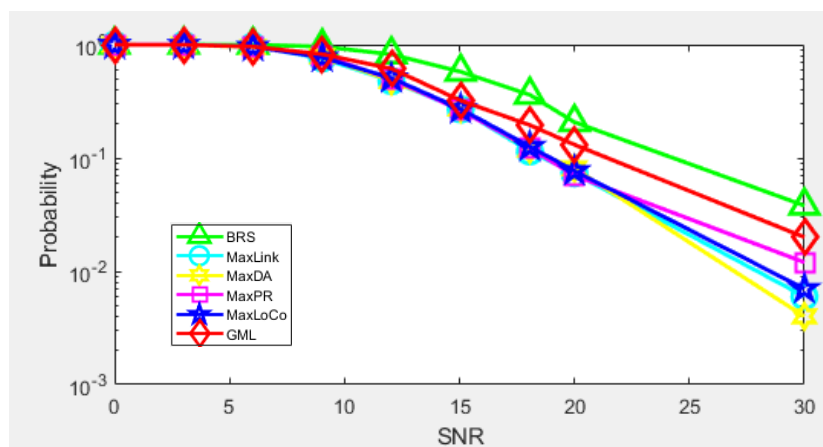
5.6 Αλγόριθμος GML

Στο CRS (Combined Relay Selection Συνδυαστική Επιλογή Αναμεταδότη) επιλέγεται ο αναμεταδότης με το πιο μικρότερο μήκος buffer για την μετάδοση και ο αναμεταδότης με το πιο μεγάλο buffer για την λήψη. Στις πιο μικρές τιμές

του buffer έχουμε μείωση των καθυστερήσεων γιατί είναι πιο σταθερές οι τιμές (19).

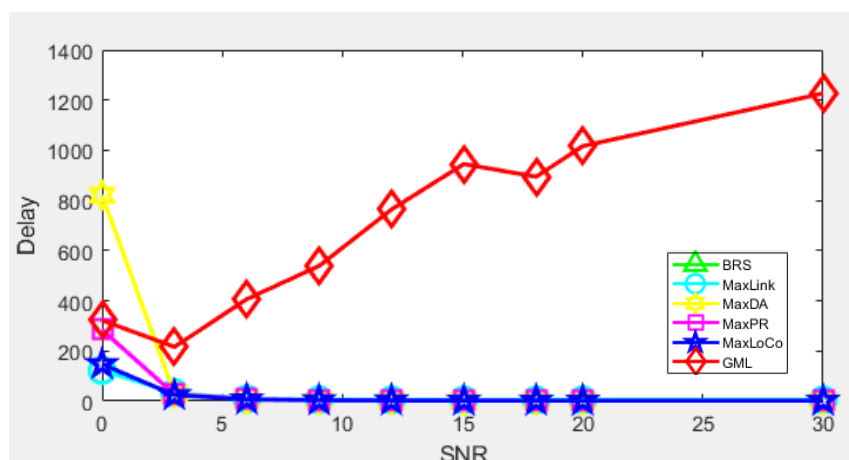
Τα αποτελέσματα δείχνουν καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά τις καθυστερήσεις σε σύγκριση με το Max-Link. Με άλλα λόγια, το CRS μειώνει την πιθανότητα ο αναμεταδότης που επιλέχθηκε να υπάρχει ένας κενός κατά την μετάδοση (ή γεμάτο κατά την λήψη) αναμεταδότης και να προκαλέσει διακοπή.

Αυτό φαίνεται από τα σχήματα γιατί όσο αυξάνεται η τιμή του buffer η πιθανότητα διακοπής αυξάνεται αφού θα πρέπει να γίνει αναζήτηση σε μεγαλύτερο αποθηκευτικό χώρο.

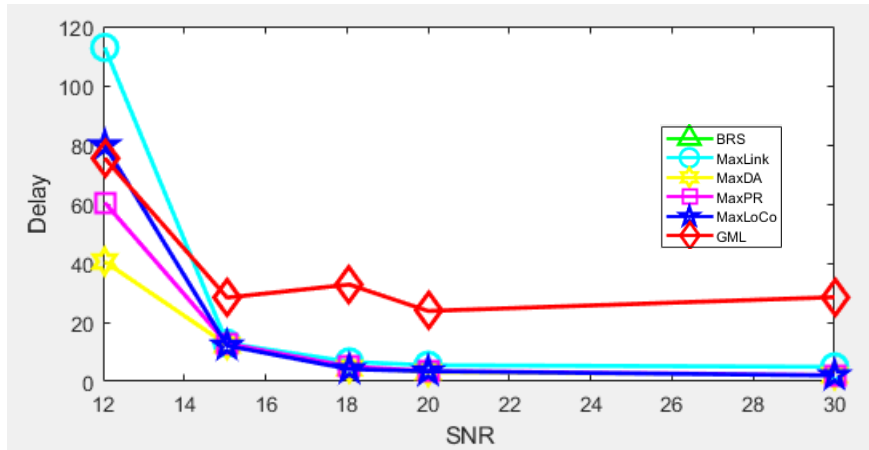


Εικόνα 27 Probability-SNR με $buffer_Size=2 \cdot \log_2(4)$

Αυτό που παρατηρείται σε αυτόν τον αλγόριθμο είναι η αύξηση της καθυστέρησης όταν έχουμε μικρό μέγεθος buffer. Όσο αυξάνεται το μέγεθος του buffer έχουμε πιο χαμηλές τιμές. Οι οποίες αυξάνονται πάλι όταν αυξάνεται ο αριθμός των relays.



Εικόνα 28 Delay-SNR με 2 relays και $buffer_Size=2 \cdot \log_2(4)$



Εικόνα 29 Delay-SNR με 2 relays και buffer_Size=2*log2(32)

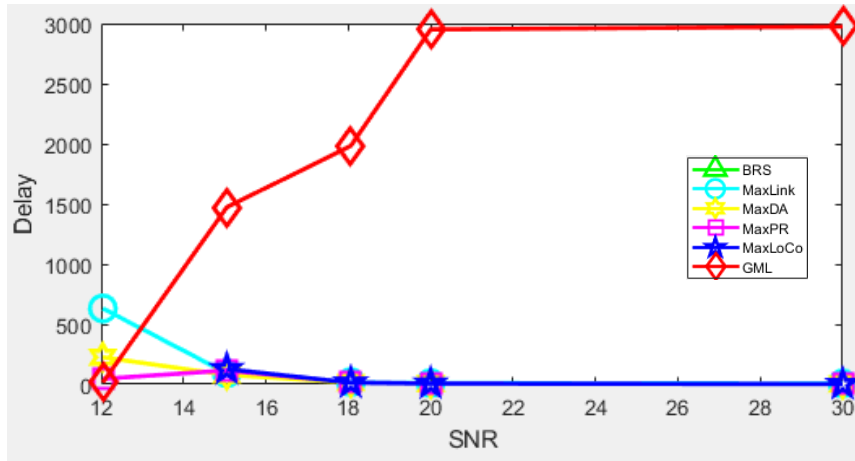
5.7 Σύγκριση Αλγορίθμου LoCo

Στόχος του αλγορίθμου LoCo είναι η μείωση των καθυστερήσεων των πακέτων. Βασίζεται σε δύο χαρακτηριστικά: 1) οι μεταδόσεις από τον αναμεταδότη στο προορισμό έχουν προτεραιότητα ακόμα και αν υπάρχουν πακέτα μετάδοσης από την πηγή στον αναμεταδότη και 2) οι μεταδόσεις από την πηγή στον αναμεταδότη έχουν σαν στόχο να διατηρηθεί η ποικιλομορφία του δικτύου. Με αυτό τον τρόπο η καθυστέρηση μειώνεται γιατί τα πακέτα βρίσκονται ήδη αποθηκευμένα στο buffer των relays και δεν χρειάζονται επιπλέον time slot. Στην εκπομπή έχουμε αποτελεσματικότερο τρόπο αποφυγής των κενών buffer. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δεν είναι τόσο πολύπλοκος όσο οι υπόλοιποι.

5.7.1 Πλήρη Ισχύς Στον Σταθμό Βάσης Και Το $\frac{1}{4}$ Στους Χρήστες

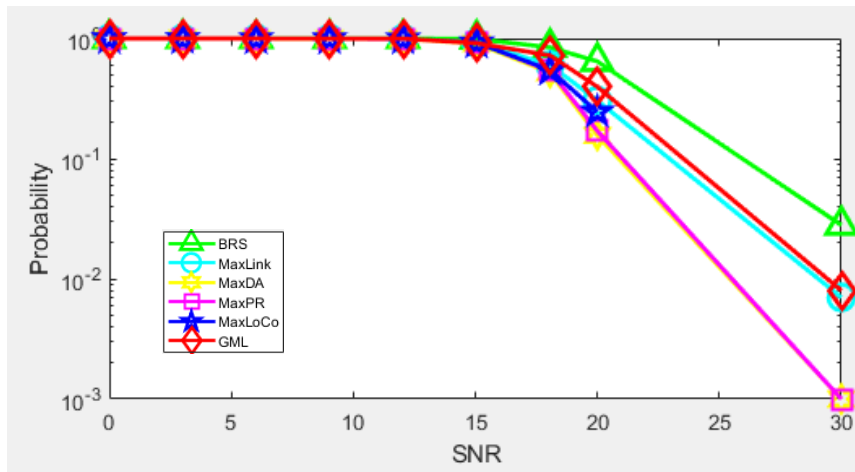
Υποθέτουμε ότι υπάρχει ένας σταθμός βάσης που διαβιβάζει τα δεδομένα στις UEs. Αυτό γίνεται με το να δίνουμε πλήρη ισχύ στην πηγή (BS) και το $\frac{1}{4}$ της ισχύος στον προορισμό (UE).

Τα αποτελέσματα στους αλγορίθμους όσο αναφορά τις καθυστερήσεις είναι ότι οι τιμές των καθυστερήσεων ως προς το SNR είναι πάρα πολύ μεγάλες. Ειδικά για τον αλγόριθμο G-ML που έχει πολύ μεγαλύτερες καθυστερήσεις σε σύγκριση με τους υπόλοιπους που πάνω κάτω έχουν τις ίδιες τιμές. Επιπλέον, ο αλγόριθμος Max-Link για μεγάλο buffer size παρουσιάζει πιο υψηλή τιμή συγκριτικά με τους υπόλοιπους.



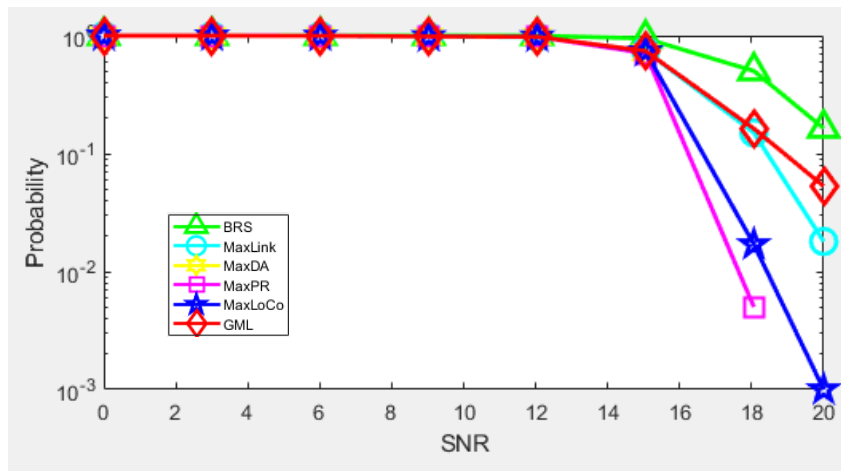
Εικόνα 30 Delay-SNR με 2 relays και $buffer_Size=2 \cdot \log_2(32)$

Η πιθανότητα διακοπής αυξάνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος των buffer για όλους τους αλγορίθμους. Το LoCo και το Max-Link DA έχουν απότομη διακοπή για $buffer_Size=2 \cdot \log_2(32)$.



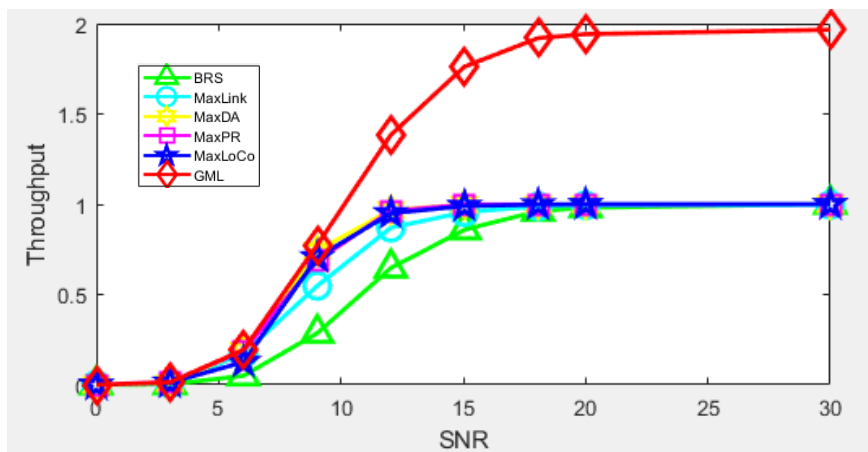
Εικόνα 31 Probability-SNR με $buffer_Size=2 \cdot \log_2(32)$

Αυτό όμως διορθώνεται εάν αυξήσουμε τα UEs, το οποίο είναι λογικό καθώς το BS θα έχει περισσότερες επιλογές για αποστολή δεδομένων.

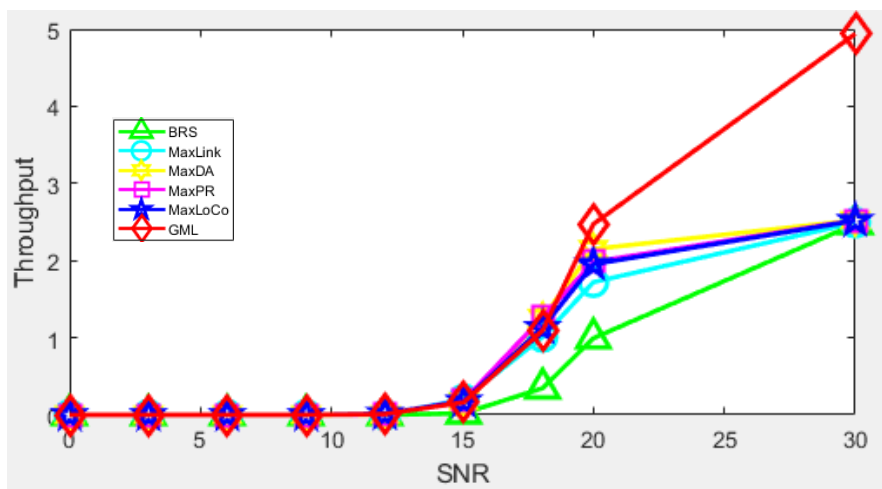


Εικόνα 32 Probability-SNR με 8 relays και buffer_Size=2*log2(32)

Το throughput του GML είναι υψηλό σε όλες τις περιπτώσεις ειδικά με υψηλό buffer size. Παρατηρείται επίσης, ότι με την αύξηση του buffer size οι αλγόριθμοι παραμένουν σε χαμηλότερα επίπεδα για περισσότερες τιμές του SNR.



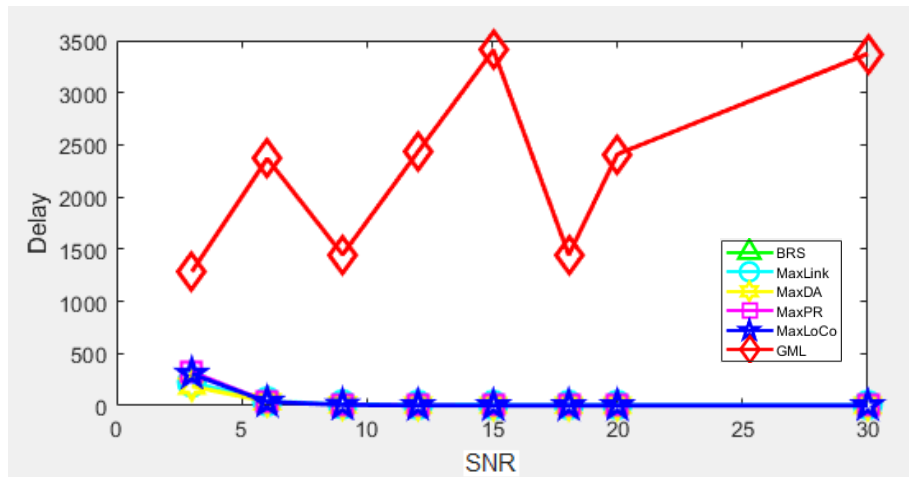
Εικόνα 33 Throughput-SNR με buffer_Size=2*log2(4)



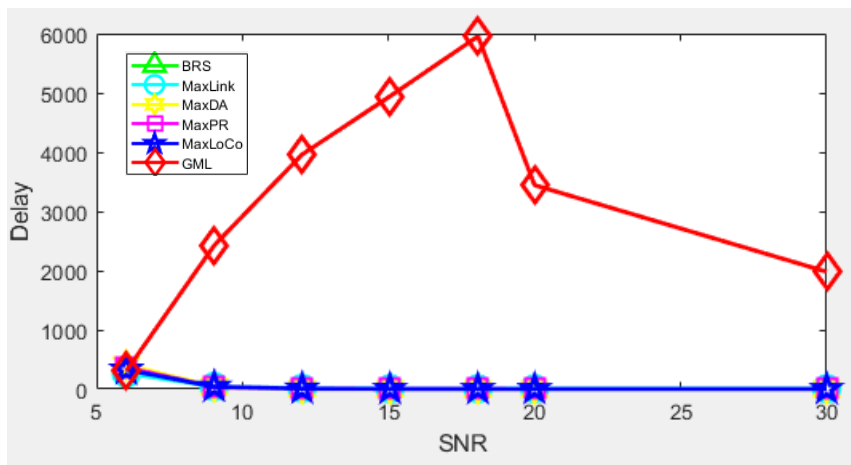
Εικόνα 34 Throughput-SNR με buffer_Size=2*log2(32)

5.7.2 Πλήρης Ισχύς Στον Σταθμό Βάσης Και Το $\frac{1}{8}$ Στους Χρήστες

Με την μείωση της ισχύος του UE στο $\frac{1}{8}$ οι καθυστερήσεις αυξάνονται. Αυτό οφείλεται στο ότι πλέον το UE δεν έχει τόσο μεγάλη ισχύ και επηρεάζεται πιο εύκολα από το περιβάλλον και τις αποστάσεις. Ο αλγόριθμος GML όμως, ενώ έχει πιο αυξημένη καθυστέρηση σε σύγκριση με τους υπόλοιπους, στην περίπτωση με την πιο μειωμένη ισχύ παρατηρείται μία καθοδική τάση της καθυστέρησης.

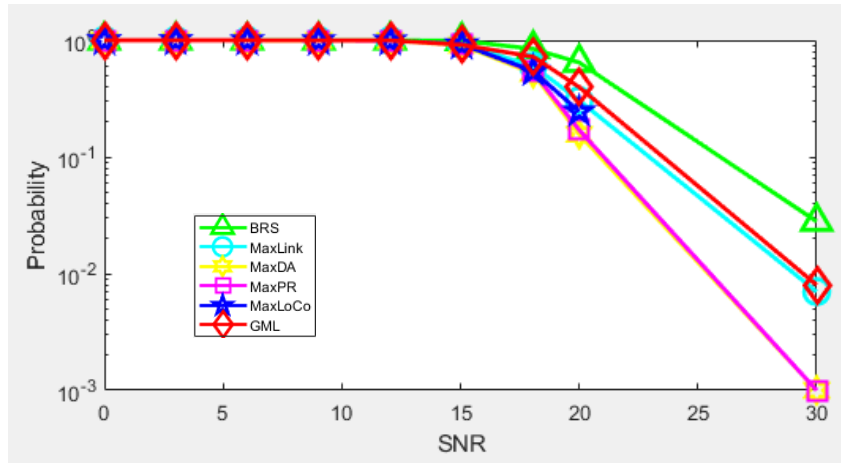


Εικόνα 35 Delay-SNR με 2 relays στο $\frac{1}{4}$ της ισχύς με $buffer_Size=2*\log_2(4)$

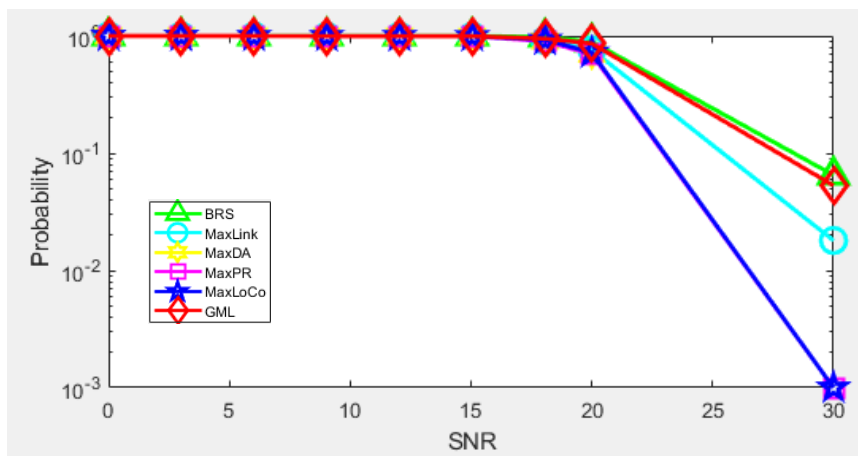


Εικόνα 36 Delay-SNR με 2 relays στο $\frac{1}{8}$ της ισχύς με $buffer_Size=2*\log_2(4)$

Όσον αφορά την πιθανότητα διακοπής, οι διαφορές δεν είναι πολύ μεγάλες παρά μόνο για τον αλγόριθμο LoCo που στην περίπτωση του $\frac{1}{4}$ είχαμε διακοπή για μία τιμή του SNR, στην περίπτωση του $\frac{1}{8}$ έχουμε μείωση αλλά όχι διακοπή.

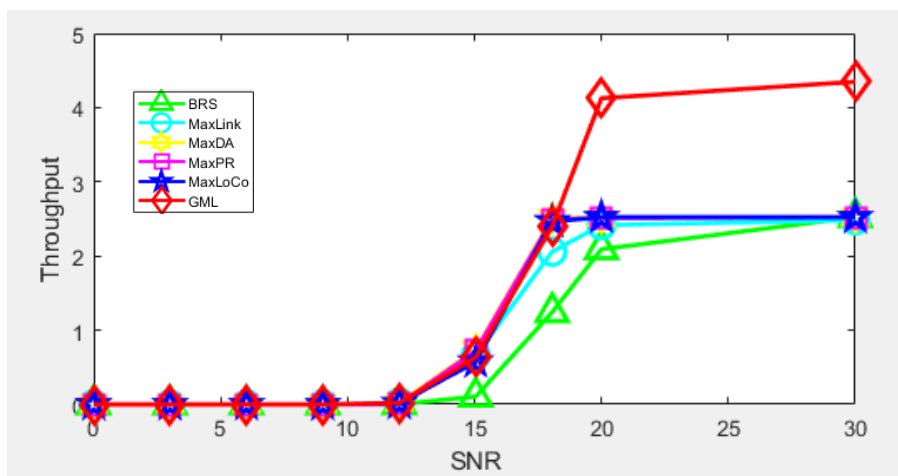


Εικόνα 37 Probability-SNR με 2 relays στο 1/4 της ισχύς με $buffer_Size=2*\log_2(32)$

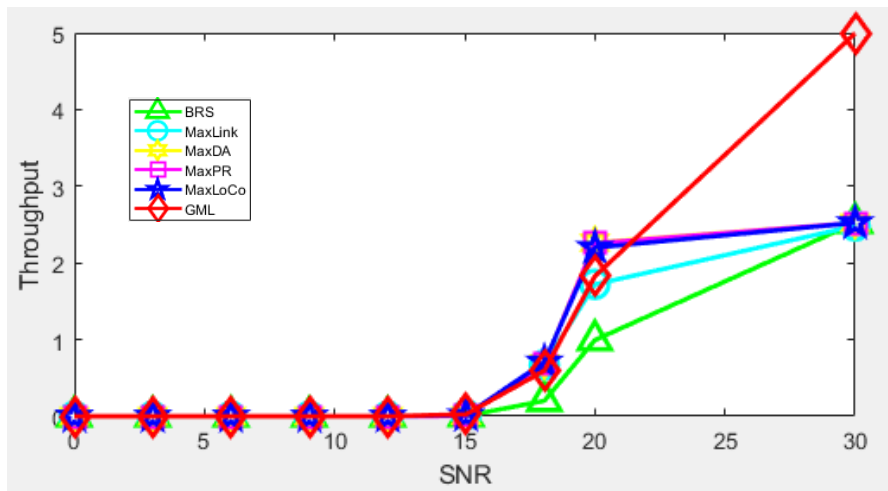


Εικόνα 38 Probability-SNR με 2 relays στο 1/8 της ισχύς με $buffer_Size=2*\log_2(32)$

Ακόμη και στο Throughput υπάρχει μείωση. Οι αλγόριθμοι LoCo και Max-Link PR έχουν μικρή απόκλιση από την περίπτωση του 1/4.



Εικόνα 39 Throughput-SNR με 8 relays στο 1/4 της ισχύς με $buffer_Size=2*\log_2(32)$



Εικόνα 40 Throughput-SNR με 8 relays στο 1/8 της ισχύς με $buffer_Size=2*\log_2(32)$

Κεφάλαιο 6

Προτεινόμενοι Αλγόριθμοι Προληπτικής Αποθήκευσης

6.1 Ο Νόμος Του Zipf

Ένας νόμος που χρησιμοποιείται πολλές φορές στην προληπτική αποθήκευση είναι ο νόμος του Zipf. Πήρε το όνομα του από τον εξαιρετικά εκκεντρικό Αμερικανό γλωσσολόγο George Kingsley Zipf (1902-1950). Η Zipf αναφέρεται ως ο νόμος όπου έχουμε πολλά και μικρά γεγονότα και λίγα αλλά μεγάλα γεγονότα. Στο δικό μας παράδειγμα έχει να κάνει με λίγα αλλά δημοφιλή αρχεία και πολλά αρχεία αλλά λιγότερο δημοφιλή.

Η απλή μορφή της Zipf είναι

$$r * f = k$$

όπου r είναι η δημοφιλία ενός αρχείου, f είναι η συχνότητα που κάποιος ζητάει να δει το αρχείο και το k παραμένει σταθερό. Το r εξαρτάται από το f γιατί εάν αλλάξει η συχνότητα ζήτησης κάποιου αρχείου αντίστοιχα αλλάζει και η δημοφιλία. Δηλαδή, όσο αυξάνεται το f αυξάνεται και το r αντίστοιχα και όταν μειώνεται η συχνότητα ζήτησης μειώνεται και η δημοφιλία του.

Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η πιθανότητα P_r αντί της συχνότητας f και τότε η Zipf παίρνει την μορφή

$$r * P_r = c$$

όπου $P_r = f/N$ είναι η πιθανότητα εμφάνισης ενός αρχείου, N το σύνολο των αρχείων και c είναι μία σταθερά.²

6.2 Zipf Και Άλλες Εργασίες

Πολλές εργασίες χρησιμοποιούν την Zipf για την δήλωση της δημοφιλίας των αρχείων, που είναι αποθηκευμένα σε μία κινητή συσκευή προσωρινά. Υποθέτοντας πως η δημοφιλία των αρχείων είναι στατική (6).

² http://ipl.cs.aueb.gr/info_ret/statistics/zipf_law_2_2.htm

Η δημοφιλία των αρχείων βίντεο είναι διαμορφωμένη σύμφωνα με την Zipf έχοντας δύο κύριες παραμέτρους την g που δηλώνει μία σταθερή φθορά και την m που είναι ο αριθμός των αρχείων. Η παράμετρος g καθορίζει την κορυφή της διανομής, δηλαδή μία μεγάλη τιμή για το g δείχνει ότι ένας πολύ μικρός αριθμός αρχείων αντιστοιχεί στην πλειοψηφία της κυκλοφορίας βίντεο, ενώ μία μικρή τιμή για το g υποδεικνύει μια πιο ομοιόμορφη κατανομή δημοφιλίας. Η παράμετρος m περιγράφει τον αριθμό των αρχείων που μπορεί να έχει πρόσβαση οποιοσδήποτε χρήστης (3).

Σε άλλη έρευνα για έναν δεδομένο αριθμό αιτήσεων R σε μία χρονική διάρκεια T , οι χρόνοι άφιξης των αιτούντων χρηστών λαμβάνονται τυχαία και τα δείγματα των αρχείων λαμβάνονται από την Zipf με παράμετρο α και εύρος τιμών 0-2 (10).

Ενώ σε κάποια άλλη έρευνα κάθε χρήστης είναι εφοδιασμένος με μία προσωρινή μνήμη χωρητικότητας M αρχείων που μπορεί να καλύψει αιτήσεις συνόλου L αρχείων με την Zipf. Η τιμή της Zipf ξεκινάει από $a=0$ που επιστρέφει μία ομοιόμορφη κατανομή του αιτήματος ενώ όσο αυξάνεται η τιμή του a διαστρεβλώνεται η κατανομή του (1).

Τέλος, σε έρευνα ο εκθέτης της Zipf είναι ο γ που ελέγχει την δημοφιλία των αρχείων και καθορίζει την κατανομή τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του γ υπάρχει ανισοροπία στην δημοφιλία των αρχείων μεταξύ των πιο δημοφιλή και των λιγότερο δημοφιλή αρχείων (4).

6.3 Κώδικας

Έχοντας σαν βάση έναν κώδικα, που χρησιμοποιεί αναμεταδότες με αποθήκευση τους buffers (14), στη συνέχεια παρουσιάζεται μία τροποποίηση του ώστε ο τρόπος αποθήκευσης να γίνεται με caching. Για την υλοποίηση αυτού του προγράμματος χρησιμοποιήθηκε η κατανομή zipf, όπου μέσα από μία τυχαία επιλογή αριθμών μεταξύ 0-10, βρίσκουμε το πόσο δημοφιλές είναι ένα αρχείο για να γίνει η μετάδοση.

Εμείς τροποποιήσαμε τον αρχικό κώδικα (LoCo) (14) με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε προσωρινή μνήμη με την χρήση των buffers αλλά και να διαχωρίζονται τα δημοφιλή αρχεία. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών αλλά και αποτελεσματικότερη χρήση του ραδιο-φάσματος με αποτέλεσμα ταχύτερη πρόσβαση στις υπηρεσίες.

Για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε πίνακες με τιμές των δημοφιλή πακέτων θα πρέπει να ικανοποιούνται οι εξής συνθήκες:

- Τα relays (χρήστες-αναμεταδότες) να μην είναι σε outage
- Η τιμή της προσωρινής μνήμης (buffers) να είναι μεγαλύτερη του 0

6.4 Σύνταξη

Για την σύνταξη του δικού μας προγράμματος χρησιμοποιούμε την συνάρτηση rand για να παραγάγουμε τυχαίους αριθμούς και να γεμίσουμε τον πίνακα δημοφιλίας (popularity_Matrix) με τυχαίους αριθμούς από 0 έως 10. Στο πίνακα αυτό υπάρχουν και οι αριθμοί των relays. Δηλαδή, έχουμε έναν αριθμό δημοφιλίας που προέκυψε από την rand και αντιστοιχεί σε έναν συγκεκριμένο relay.

Θα πρέπει να γίνει έλεγχος ποια relays μπορούν να μεταδώσουν και δεν είναι σε outage. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούμε τον πίνακα SR_info στην στήλη του SNR που θα πρέπει να είναι μικρότερο από την τιμή του link Threshold.

Εφόσον γίνει ο έλεγχος για το ποιοι αναμεταδότες δεν είναι σε outage ελέγχεται ποιος αναμεταδότης έχει την μεγαλύτερη τιμή δημοφιλίας. Οπότε επιλέγεται ο αναμεταδότης που δεν είναι σε outage και έχει την μεγαλύτερη τιμή δημοφιλίας προς μετάδοση. Το αρχικό πρόγραμμα έλεγχε τον καλύτερο σύνδεσμο από την πηγή στον αναμεταδότη και από τον αναμεταδότη στον προορισμό και επέλεγε αυτόν με την μεγαλύτερη τιμή από τον πίνακα Channel_Matrix SR ή RD.

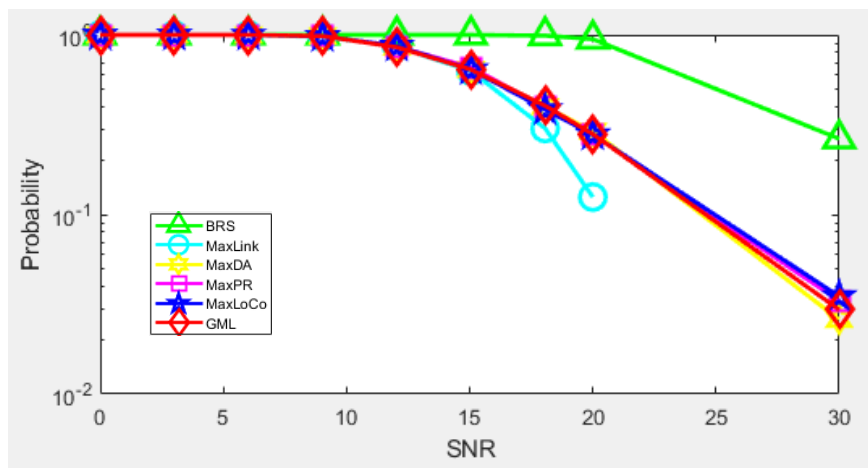
Οπότε στο πρώτο κομμάτι του αρχικού κώδικα δημιουργούμε ένα popularity Matrix για κάθε αλγόριθμο που τον γεμίζουμε με τυχαίους αριθμούς. Ενώ στο δεύτερο κομμάτι γίνεται η επιλογή του αναμεταδότη που έχει την μεγαλύτερη τιμή δημοφιλίας. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι: LoCo, Max Link, Link Selection, DA Max Link, GML, BRS.

Κεφάλαιο 7

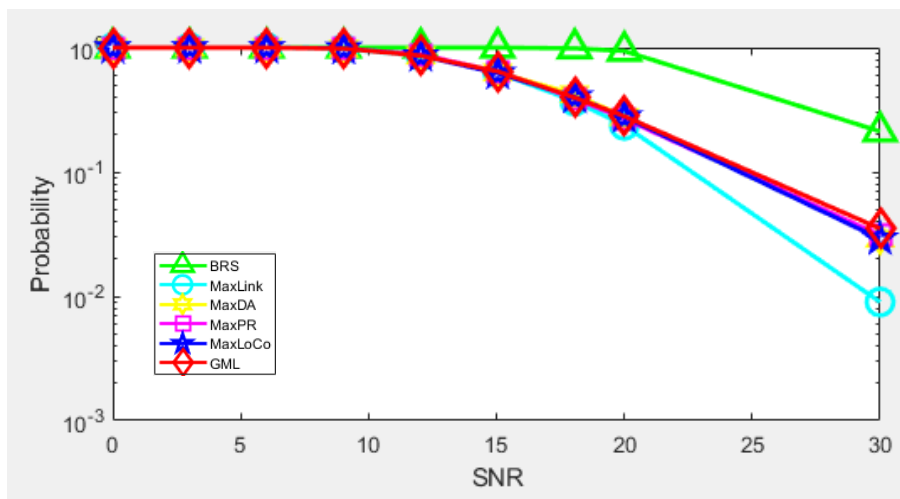
Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προκλήσεις

7.1 Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Στα αποτελέσματα του Matlab όσον αφορά το probability δεν επηρεάζεται από τον αριθμό των frames αλλά από τον αριθμό των relays. Όσο μειώνεται ο αριθμός των relays έχουμε πτωτική τάση των τιμών σε σύγκριση με το SNR.



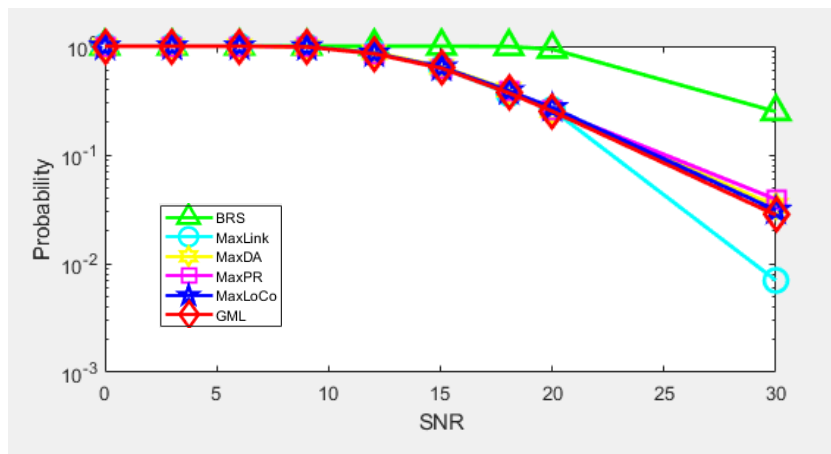
Εικόνα 41 Probability-SNR με 8 relays, 10 files και 2000 frames



Εικόνα 42 Probability-SNR με 2 relays 10 files και 1000 frames

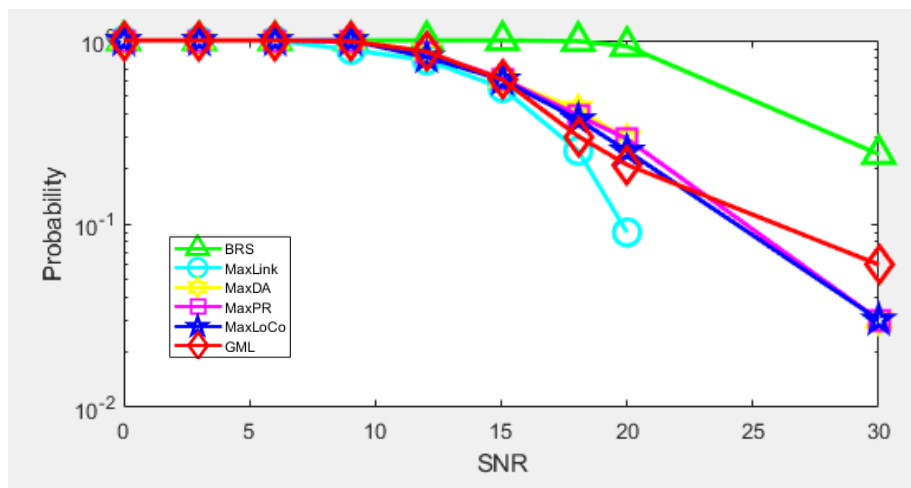
Λαμβάνουμε όμως καλύτερες τιμές (ειδικά για το GML) εάν αυξήσουμε τον αριθμό των αρχείων από 10 σε 10.000. Πράγμα που σημαίνει πως όσο αυξάνεται

ο αριθμός των αρχείων και υπάρχουν περισσότερες επιλογές δημοφιλών αρχείων έχουμε καλύτερες τιμές για το probability.

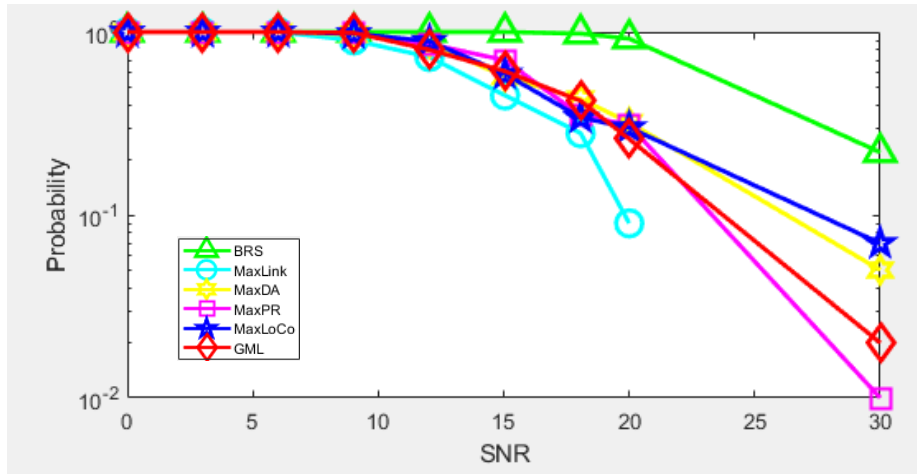


Εικόνα 43 Probability-SNR με 2 relays και 10000 files και 1000 frames

Συγκεκριμένα, η πιθανότητα διακοπής δείχνει να επηρεάζεται από τον αριθμό των αρχείων σε ορισμένους αλγόριθμους, όπως είναι ο αλγόριθμος GML και LoCo. Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των αρχείων που πρέπει να εξεταστούν τόσο μεγαλύτερες και οι πιθανότητες να διακοπεί αφού η λίστα που πρέπει να ελεγχθεί είναι μεγαλύτερη.



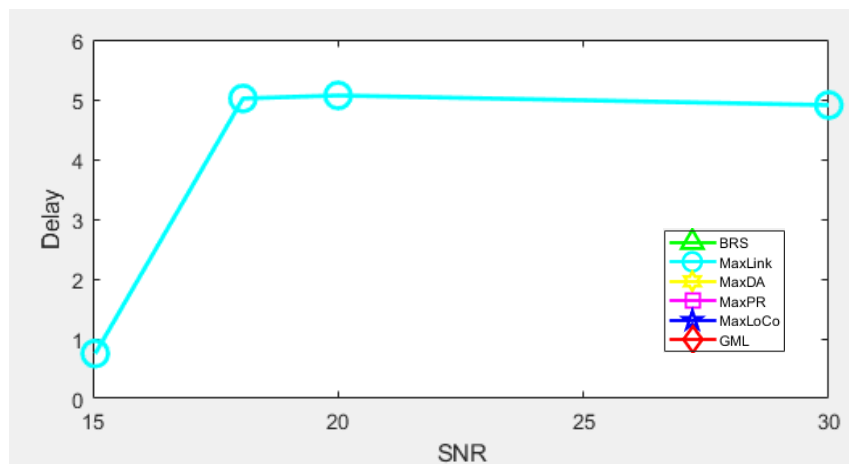
Εικόνα 44 Probability-SNR με 8 relays και 10 files



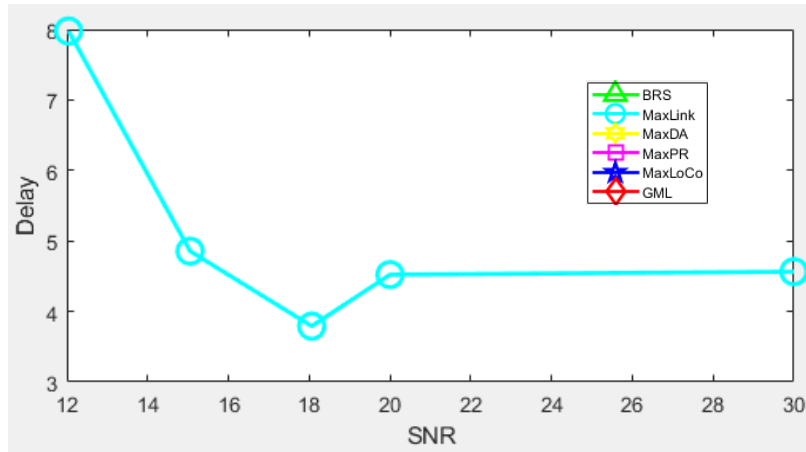
Εικόνα 45 Probability-SNR με 8 relays και 10000 files

Όταν ζητηθεί κάποιο δημοφιλές αρχείο που υπάρχει στην προσωρινή μνήμη ενός χρήστη τότε εξαρτάται από το σύνολο των αρχείων που υπάρχουν αποθηκευμένα. Επειδή αυξάνεται ο αριθμός των αρχείων θεωρεί ότι υπάρχουν αρκετά αρχεία προς μετάδοση άρα η πιθανότητα να μην γίνει κάποια μετάδοση μειώνεται.

Σχετικά με τις καθυστερήσεις έχουμε μεγάλες καθυστερήσεις σε σύγκριση με το SNR σε όλους στους αλγόριθμους. Το Matlab μας έδωσε τιμές μόνο για τον αλγόριθμο Max Link που επηρεάζεται από τον αριθμό των frames. Όσο μειώνονται τόσο χαμηλότερες τιμές μας δίνει. Αντίθετα, δεν έχει καμία διαφορά με τον αριθμό των αρχείων. Δεν έχουμε πάρει τιμές με την αύξηση των αριθμών των αρχείων από κανέναν αλγόριθμο που σημαίνει ότι οι καθυστερήσεις είναι μεγάλες. Αυτό θεωρείται λογικό γιατί θα έχει μεγαλύτερο αριθμό αρχείων να ελέγξει για την δημοφιλία τους οπότε οι καθυστερήσεις θα είναι μεγαλύτερες.

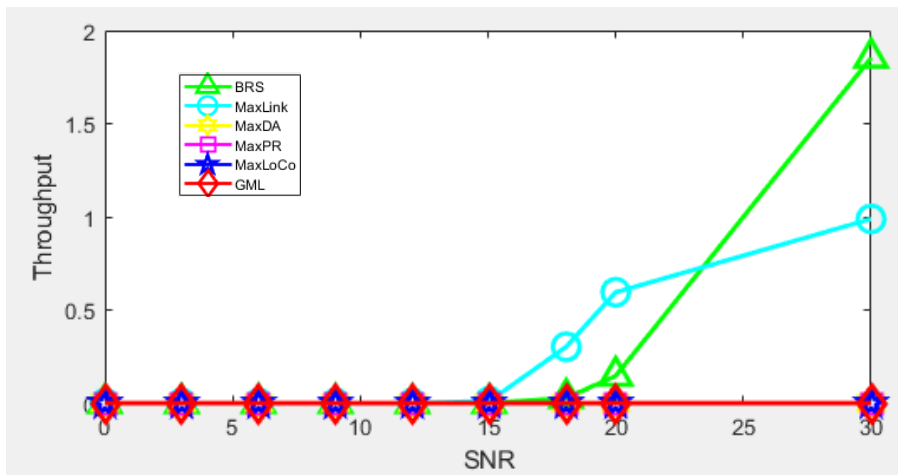


Εικόνα 46 Delay-SNR με 8 relays και 2000 frames

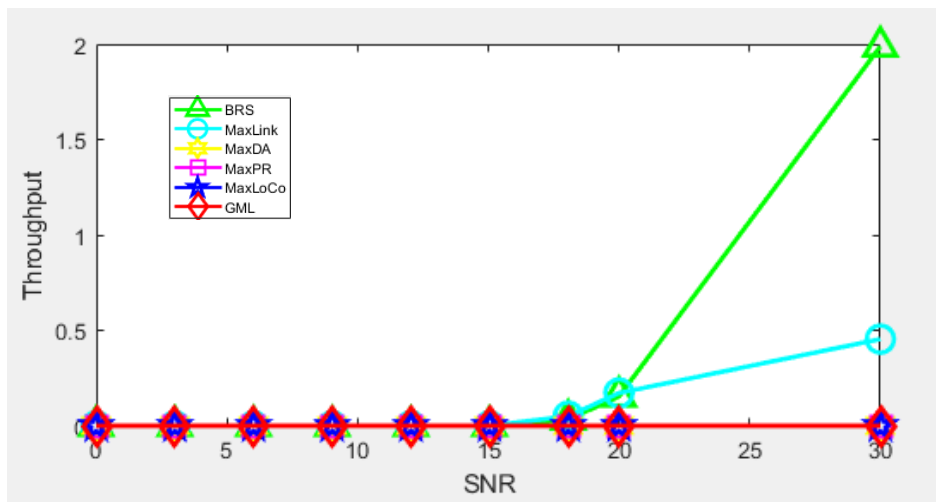


Εικόνα 47 Delay-SNR με 6 relays και 100 frames

Το throughput επηρεάζεται από τον αριθμό των relays αλλά μόνο για τον αλγόριθμο Max Link. Ενώ δεν υπάρχει κάποια διαφορά με την αύξηση των αριθμών των πακέτων.



Εικόνα 44 Throughput-SNR με 8 relays και 1000 frames



Εικόνα 45 Throughput-SNR με 2 relays και 1000 frames

Συνοψίζοντας, από τον αρχικό κώδικα έχουμε προσθέσει ένα πίνακα δημοφιλών αρχείων. Σε αυτόν τον πίνακα δίνονται τυχαίες τιμές και στο τέλος με βάση τον αριθμό δημοφιλίας του επιλέγεται ποιο αρχείο θα μεταδώσει από την προσωρινή μνήμη των χρηστών. Τα αποτελέσματα μας έδειξαν πως η πιθανότητα διακοπής μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των αρχείων πράγμα που σημαίνει πως όσο περισσότερα αρχεία υπάρχουν στην προσωρινή μνήμη των χρηστών τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα διακοπής. Συνεπάγεται όμως πως και ο χρήστης θα διαθέσει τους προσωπικούς του πόρους για την αποθήκευση των αρχείων.

Οπότε στα πλαίσια αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής το συμπέρασμα που βγαίνει είναι πως ο χρήστης θα πρέπει να διαθέσει την χωρητικότητα της συσκευής για να αποθηκεύει τα δημοφιλή αρχεία και να τα διαθέτει προς μετάδοση. Για να το κάνει αυτό θα πρέπει να δοθεί ένα έναυσμα στον χρήστη από τους παρόχους έτσι ώστε στα 5G συστήματα να μπορέσουν να δώσουν το μεγαλύτερο ποσοστό των δυνατοτήτων τους.

7.2 Μελλοντικές Προκλήσεις

Η ανάγκη για μεγαλύτερες ταχύτητες με το μικρότερο δυνατό κόστος είναι μερικές από τις προϋποθέσεις που υπόσχονται τα δίκτυα 5G. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει οι πάροχοι να αναβαθμίσουν τις υποδομές τους αλλά και τις παροχές τους. Στις επόμενες έρευνες υπάρχει περιθώριο βελτίωσης όσο αφορά την προσπάθεια για μεγαλύτερες ταχύτητες περισσότερων δεδομένων στο μικρότερο δυνατό χρόνο. Αλλά και λιγότερες καθυστερήσεις μέσω D2D επικοινωνία με την βοήθεια της προληπτικής αποθήκευσης.

Παράρτημα Α

Α.1 Ακρώνυμα

	Ακρώνυμα
IoT	Internet of Things
MIMO	Multiple Input Multiple Output
ADMM	Alternating Direction Method of Multipliers
CDMA	Code Division Multiple Access
CDN	Content Delivery Network
CR	Core Network
D2D	Device to Device
DSLMA	Digital Subscriber Line Access Multiple
EPC	Evolved Packet Core
FDD	Frequency Division Duplex
FM	Frequency Modulation
HCN	Heterogeneous Cellular Network
LR	Linear Relaxation
MACP	Multicast-Aware Caching Problem
MBS	Macro Base Station
MDP	Matkov Decision Process
NMR	Normalized Minimum Rate
OD	Original Delivery
OP	Original Placement
PDF	Probability Density Function
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
SBS	Small Base Station
SGD	Greedy Coded Delivery
SLCN	Shared Link Caching Network
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	User Equipment

LoCo	Low Complexity
BRS	Best Relay Selection
CRS	Combined Relay Selection
BSI	Buffer State Information

Πίνακας 6 Πίνακας Ακρωνύμων

A.2 Πίνακας Αντιστοίχισης Γραφικών Παραστάσεων

Αλγόριθμος	Χρώμα
BRS	Πράσινο
Max Link	Κυανό
Max DA	Κίτρινο
Max PR	Μωβ
Max LoCo	Μπλε
GML	Κόκκινο

Πίνακας 7 Αντιστοίχιση Γραφικών Παραστάσεων

Βιβλιογραφία

1. Yasser Fadlallah, Antonia M. Tulino, Dario Barone, Giuseppe Vettigli, Jaime Llorca, and Jean-Marie Gorce. Coding for Caching in 5G Networks. IEEE Communications Magazine. 2017, Τόμ. Practical Perspectives on IoT in 5G Networks From Theory to Industrial Challenges and Business Opportunities.
2. Cache in the Air: Exploiting Content Caching and Delivery Techniques for 5G Systems. IEEE Communications Magazine. 2014.
3. Negin Golrezaei, Andreas F. Molisch, Alexandros G. Dimakis, Giuseppe Caire. Femtocaching and Device-to-Device Collaboration: A New Architecture for Wireless Video Distribution. IEEE Communications Magazine. 2013, ACCEPTED FROM OPEN CALL.
4. Lilin Fan, Zhengnan Dong, Peiyan Yuan. The Capacity of Device-to-Device Communication Underlying Cellular Networks With Relay Links. 2017.
5. Mohsen Nader Tehrani, Murat Uysal, and Halim Yanikomeroglu. Device-to-Device Communication in 5G Cellular Networks: Challenges, Solutions, and Future Directions. IEEE Communications Magazine. 2014.
6. Shuo Wang, Xing Zhang, Yan Zhang, Lin Wang, Juwo Yang, Wenbo Wang. A Survey on Mobile Edge Networks: Convergence of Computing, Caching and Communications. s.l. : Special Selection On Security Analytics And Intelligence For Cyber, 2017.
7. Azary Abbou, Ejder Bastu, Kenza Hamidouche and Mérouane Debbah. Distributed Caching in 5G Networks: An Alternating Direction Method of Multipliers. s.l. : 16th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), 2015.
8. Konstantinos Poularakis, George Iosifidis, Vasilis Sourlas, Leandros Tassiulas. Exploiting Caching and Multicast for 5G Wireless Networks. 2016. Τόμ. IEEE Transactions On Wireless Communications.
9. Wei Wang, Ruining Lan, Jingxiong Gu, Aiping Huang, Hanguan Shan, Zhaouang Zhang. Edge Caching at Base Stations With Device-to-Device Offloading. Special Section On Wireless Caching Technique For 5G. 2017.
10. Ejder Bastug, Mehdi Bennis, and Mérouane Debbah. Living on the Edge: The Role of Proactive Caching in 5G Wireless Networks. IEEE Communications Magazine. 2014.
11. Vasilios A. Siris, Dimitrios Dimopoulos. Multi-Source Mobile Video Streaming with Proactive Caching and D2D Communication. 2015.
12. Aiqing Zhang, Xiaodong Lin. Security-Aware and Privacy-Preserving D2D Communications in 5G. Ultra-Dense Heterogeneous Small Cell Deployment. 2017.
13. Qifa Yan, Xiaohu Tang, and Qingchun Chen. On the Greedy Coded Caching Scheme. 2016.

14. Aggelos Bletsas, Ashish Khisti, David P. Reed and Andrew Lippman. A Simple Cooperative Diversity Method Based on Network Path Selection. *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*. 2006.
15. Ioannis Krikidis, Themistoklis Charalambous, and John S. Thompson. Buffer-Aided Relay Selection for Cooperative Diversity Systems without Delay Constraints. *IEEE Transactions On Wireless Communications*. 2012.
16. Dimitrios Poulimeneas, Themistoklis Charalambous, Nikolaos Nomikos, Ioannis Krikidis. A Delay-Aware Hybrid Relay Selection Policy. *International Conference on Telecommunications*. 2016.
17. Teh, Sheng Luo and Kah Chan. Buffer State Based Relay Selection for Buffer-Aided Cooperative Relaying Systems. *IEEE Transactions On Wireless Communications*. 2015.
18. Liu, Syuan-Li Lin and Kuang-Hao. Relay Selection for Cooperative Relaying Networks With Small Buffers. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*. 2016.
19. Nikolaos Nomikos, Themistoklis Charalambous, Demosthenes Vouyioukas, George K. Karagiannidis. LoCo – Link: A Low-Complexity Link Selection Algorithm for Delay Mitigation in Asymmetric Two-Hop Networks. *Wireless Communications Symposium*. 2017.

