



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

Π.Μ.Σ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ
ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ**

Τίτλος Εργασίας: Εξέλιξη Απόδοσης Δικτύων 5G D2D
Διπλωματική Εργασία



Όνομα φοιτητή: Κουνάδης Χαράλαμπος
Αθήνα, 2022



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

SCHOOL OF DIGITAL TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF INFORMATICS AND TELEMATICS

POSTGRADUATE PROGRAMME OF INFORMATICS AND TELEMATICS

COURSE: TELECOMMUNICATION NETWORKS AND TELEMATICS
SERVICES

Title: Performance Evolution of 5G D2D Networks

Master Thesis



Student: Kounadis Charalampos

Athens, 2022



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

Π.Μ.Σ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ
ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δημητρακόπουλος Γεώργιος

**Αναπληρωτής καθηγητής, Πληροφορική και Τηλεματική, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο**

Αναγνωστόπουλος Δημοσθένης

Καθηγητής, Πληροφορική και Τηλεματική, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Τσερπές Κωνσταντίνος

**Αναπληρωτής καθηγητής, Πληροφορική και Τηλεματική, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο**

Ο/Η Κουνάδης Χαράλαμπος

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1)** Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2)** Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.
- 3)** Όπου υφίστανται δικαιώματα άλλων δημιουργών έχουν διασφαλιστεί όλες οι αναγκαίες άδειες χρήσης ενώ το αντίστοιχο υλικό είναι ευδιάκριτο στην υποβληθείσα εργασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	7
Abstract	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	10
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ/ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ D2D ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΝΕΕΣ ΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	14
1.1 Προβλέψεις για τα δίκτυα της κινητής.....	14
1.2 Οι απαιτήσεις της νέας γενιάς 5G	17
1.3 D2D επικοινωνία πριν το 5G	18
1.4 Τεχνολογίες D2D εκτός δικτύου κινητής.....	19
1.5 MANET και CRN	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΙΑ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ 5G/IoT	23
2.1 Απαιτήσεις τεχνολογίας	23
2.2 Βασική αρχιτεκτονική του 5G	26
2.3 Cloud-RAN (C-RAN)	27
2.4 Network slicing	29
2.5 Τεχνολογίες δικτύων 5G	30
2.6 Επισκόπηση του IoT	36
2.7 Απαιτήσεις IoT προς υποστήριξη από τα συστήματα 5G.....	37
2.8 Σχέδια του 5G για την ενσωμάτωση των IoT	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: DEVICE-TO-DEVICE (D2D).....	39
3.1 Μία επισκόπηση στην D2D επικοινωνία	39
3.2 Βασικές πληροφορίες για την D2D επικοινωνία	39
3.3 Μερικά πλεονεκτήματα της D2D επικοινωνίας.....	41
3.4 Οι λειτουργίες της D2D τεχνολογίας ενεργοποιούν και αναδεικνύουν τα Internet of Things	42
3.5 Κάποιες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τα D2D δίκτυα	45
3.6 Η ιστορία της cellular D2D επικοινωνίας.....	46
3.7 D2D Standardization	46
3.8 Οι πόροι του φάσματος (inband-outband)	48
3.9 Διαχείριση D2D.....	50
3.10 Συγχρονισμός D2D	50
3.11 UE-to-Network Relay	50
3.12 Ευκαιρίες και σενάρια εφαρμογής	51
3.13 Η Επικοινωνία D2D στις τεχνολογίες 5G	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΟΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΤΗΣ D2D ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	60
4.1 Τα ζητήματα που θέτει η ενσωμάτωση της D2D τεχνολογίας στα κυψελωτά δίκτυα.....	60
4.2 Device Discovery	62
4.3 Mode Selection.....	63
4.4 Διαχείριση Κινητικότητας.....	65
4.5 Διαχείριση πόρων	66
4.6 Κατανομή πόρων χρόνου/συχνότητας	70
4.7 Μοντελοποίηση και ανάκτηση κατάστασης διαύλων.....	71
4.8 Χρήση φάσματος και διαχείριση παρεμβολών	71
4.9 Εξισορρόπηση απόδοσης, υπολογιστικής πολυπλοκότητας και σηματοδοσίας.....	72

4.10 Uplink ή Downlink;	72
4.11 Τιμολόγηση	73
4.12 D2D SECURITY	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ	79
5.1 Έλεγχος ισχύος	79
5.2 Κατανεμημένη επιλογή λειτουργίας D2D σε full-duplex	80
5.3 Επικοινωνία D2D με αναμεταδότη	81
5.4 Ενεργειακή Απόδοση σε Single-hop Μοντέλο D2D	84
5.5 Εκφόρτωση κίνησης	86
5.6 Μοντέλο Inband αναμετάδοσης	87
5.7 Μηχανισμός ασφαλείας που βασίζεται στη φήμη	88
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	90

Περίληψη

Η ευρεία χρήση έξυπνων συσκευών και εφαρμογών για κινητές συσκευές οδηγεί σε μαζική αύξηση της ασύρματης κίνησης δεδομένων. Επιπλέον, ο πολλαπλασιασμός ετερογενών συσκευών που συνδέονται μέσω δικτύων μεγάλης κλίμακας είναι ένα σαφές σημάδι ότι το Internet of Things (IoT) έχει γίνει πραγματικότητα. Πολλοί ερευνητές και ειδικοί στον τομέα συμπερίζονται την άποψη ότι τα συστήματα κινητής πέμπτη γενιάς (5G) θα είναι μια ισχυρή ώθηση για την ανάπτυξη του IoT. Η υποστήριξη των επερχόμενων απαιτήσεων όγκου δεδομένων, ρυθμού επικοινωνίας και χωρητικότητας του συστήματος απαιτεί επανεξέταση της υπάρχουσας αρχιτεκτονικής δικτύου. Παραδοσιακά, οι χρήστες επικοινωνούν μέσω του σταθμού βάσης μέσω διαδρομών uplink/downlink. Οι επικοινωνίες D2D επιτρέπουν στις συσκευές να μεταδίδουν πληροφορίες δεδομένων απευθείας μεταξύ τους με ή χωρίς πρόσβαση σε ασύρματη υποδομή (π.χ. Σ.Β. ή core δικτύου). Επιτρέποντας την επικοινωνία συσκευής με συσκευή (D2D), μπορούμε να βελτιώσουμε τη φασματική απόδοση, την επεκτασιμότητα και μπορούμε να επιτύχουμε μειωμένη καθυστέρηση επικοινωνίας, μεγαλύτερο throughput, εξοικονόμηση ενέργειας της συσκευής και επέκταση κάλυψης μελλοντικών δικτύων και εφαρμογών. Συνολικά η συμφόρηση του κυψελοειδούς δικτύου μειώνεται. Η οικονομική έλξη για τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας είναι ότι μπορούν να επιτευχθούν σημαντικά κέρδη χωρητικότητας και κάλυψης χωρίς να χρειάζεται να επενδύσουμε σε αναβαθμίσεις υλικού από την πλευρά του δικτύου ή σε νέες αναπτύξεις κυψελών. Ορισμένες πιθανές εφαρμογές, μεταξύ άλλων, περιλαμβάνουν, κοινωνικές αλληλεπιδράσεις με βάση την απόσταση, ανταλλαγή πληροφοριών, διαφημίσεις και επικοινωνία Οχήματος με Όχημα (V2V). Ωστόσο, αυτός ο τρόπος επικοινωνίας παρουσιάζει επιπλοκές όσον αφορά τα γενικά έξοδα ελέγχου παρεμβολών και τα πρωτόκολλα που εξακολουθούν να είναι ανοιχτά ερευνητικά προβλήματα. Εκτός από πολλά πλεονεκτήματα, η επικοινωνία D2D θέτει πιθανές προκλήσεις όσον αφορά την ασφάλεια και το ιδιωτικότητα. Σε αυτή την εργασία, συζητάμε διεξοδικά τα χαρακτηριστικά προστιθέμενης αξίας που εισάγονται από τις επικοινωνίες D2D, παρουσιάζουμε ορισμένες από τις προκλήσεις που φέρνει η ενσωμάτωση της επικοινωνίας D2D σε κυψελωτά συστήματα και επικυρώνουμε τις δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας. Ερευνούμε ορισμένες λύσεις, ραδιοτεχνολογίες που ευνοούν και επιτρέπουν την ύπαρξη της D2D αρχιτεκτονικής και τις τρέχουσες δραστηριότητες standardization για τις επικοινωνίες D2D με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Λέξεις κλειδιά: D2D, 5G, IOT

Abstract

The widespread use of smart devices and mobile applications is leading to a massive growth of wireless data traffic. Moreover the proliferation of heterogeneous devices connected through large-scale networks is a clear sign Internet of Things (IoT) has become a reality. Many researchers and experts in the field share the opinion that the fifth generation (5G) cellular systems will be a strong boost for the IoT deployment. Supporting the upcoming demands of data volume, communication rate, and system capacity requires reconsideration of the existing network architecture. Traditionally, users communicate through the base station via uplink/downlink paths. D2D communications enable devices to communicate data information directly with each other with or without access to a wireless infrastructure (e.g. BS or core network). By allowing device-to-device (D2D) communication, we can enhance spectral efficiency, scalability and we can achieve reduced communication delay, throughput enhancement, device energy saving and coverage expansion of future networks and applications. In overall the cellular network congestion decreases. The economic attraction to mobile operators is that significant capacity and coverage gains can be achieved without having to invest in network-side hardware upgrades or new cell deployments. Some potential applications, among others, include, proximity-based social interactions, exchange of information, advertisements and Vehicle-to-Vehicle (V2V) communication. However, this communication mode introduces complications in terms of interference control overhead and protocols that are still open research problems. Apart from many advantages, D2D communication poses potential challenges in terms of security and privacy. In this thesis, we thoroughly discuss the added-value features introduced by D2D communications we address some of the challenges brought by the integration of D2D communication in cellular systems, and validate the potential of this technology. We survey some solutions, enabling radio technologies, and current standardization activities for D2D communications with their pros and cons. Moreover, we provide new insights into the over-explored and under-explored areas which lead us to identify open research problems of D2D communication in cellular networks.

Keywords: D2D, 5G, IOT

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Τρεις επιλογές μετάδοσης της D2D επικοινωνίας.....	14
Εικόνα 2 : Παγκόσμια κίνηση δεδομένων δικτύου κινητής και ετήσια αύξηση (ΕΒ ανά μήνα)..	15
Εικόνα 3: Συνδρομές κινητής τηλεφωνίας ανά τεχνολογία (δισεκατομμύρια).....	16
Εικόνα 4: Η παγκόσμια ανάπτυξη του mobile M2M.....	16
Εικόνα 5: Mobile Ad-hoc Network[49]	22
Εικόνα 6: Το όραμα για virtualization του 5G	27
Εικόνα 7: Network slicing παράδειγμα.....	30
Εικόνα 8: 5G New Radio frequency (5G NR): The mmWave	31
Εικόνα 9: Massive MIMO στα δίκτυα 5G.....	32
Εικόνα 10: Ένα UDN στα δίκτυα 5G.....	33
Εικόνα 11: Τα δύο κύρια use cases της D2D επικοινωνίας στο 5G.....	36
Εικόνα 12: IoT συνδέσεις ανά τα χρόνια[2].....	36
Εικόνα 13: Ένα μοντέλο D2D	41
Εικόνα 14: Εκπομπές συνάθροισης χρησιμοποιώντας την D2D τεχνολογία.....	44
Εικόνα 15: Οι εκδόσεις ProSe του 3GPP και οι D2D λειτουργίες που εξέτασαν	47
Εικόνα 16: Επιλογή φάσματος στην D2D επικοινωνία	48
Εικόνα 17: Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις χρήσης επικοινωνίας D2D σε cellular δίκτυα	52
Εικόνα 18: Η D2D στα smart homes	53
Εικόνα 19: UE-to-Network Relay μοντέλο για δημόσια ασφάλεια που συζητήθηκε στο Prose release 17[50].....	54
Εικόνα 20: Περιπτώσεις χρήσης της D2D επικοινωνίας.....	55
Εικόνα 21: Πιθανές εφαρμογές της τεχνολογίας D2D	56
Εικόνα 22: Η ενσωμάτωση D2D στα 5G δίκτυα	58
Εικόνα 23: Προκλήσεις, λύσεις και ανοιχτά ζητήματα της D2D Επικοινωνίας.....	61
Εικόνα 24: Κεντρική ανακάλυψη συσκευής: (α) Μερική εμπλοκή του ΣΒ, (β) Πλήρης εμπλοκή του ΣΒ	62
Εικόνα 25: Τρόποι επικοινωνίας σε δίκτυα D2D (α)Απολύτως cellular λειτουργία (β)Μερικώς cellular λειτουργία (γ)Αποκλειστική λειτουργία (δ)Underlay λειτουργία.....	64
Εικόνα 26: Τυπικό σενάριο μεταβίβασης(handoff) στην επικοινωνία D2D	66
Εικόνα 27: Ένα μοντέλο D2D που βασίζεται σε controller SDN.....	68
Εικόνα 28: Σενάριο αλληλεπίδρασης της επιλογής τρόπου λειτουργίας (mode selection), του ελέγχου ισχύος και της κατανομής πόρων.	69
Εικόνα 29: Βελτίωση απόδοσης βάσει τεχνικών διαχείρισης πόρων	69
Εικόνα 30: Τα τρία κύρια προβλήματα διαχείρισης πόρων στην επικοινωνία D2D	70
Εικόνα 31: Συνδυαστικό σχέδιο ασφάλειας application layer-physical layer.....	78
Εικόνα 32: (α)Full duplex μοντέλο συστήματος, (β) διαδικασία μετάδοσης.....	81
Εικόνα 33: Παράδειγμα επικοινωνιών D2D με αναμεταδότες.....	83
Εικόνα 34: Οι 3 λειτουργίες αναμετάδοσης στο συγκεκριμένου μοντέλο	84
Εικόνα 35: Περιγραφή σηματοδότησης για τον σχηματισμό cloud.....	86
Εικόνα 36: Αρχιτεκτονική για την εκφόρτωση της cellular κίνησης χρησιμοποιώντας δίκτυα D2D	87
Εικόνα 37: Το πρωτόκολλο των δύο διαφορετικών timeslots	88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: D2D δίκτυα με υποδομή vs Ad-hoc δίκτυα	23
Πίνακας 2: Σύγκριση μεταξύ 4G και 5G δικτύων [14]	25
Πίνακας 3: mmWave ραδιοσυχνότητες του 5G που χρησιμοποιούνται ανά χώρα	31

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ/ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

IOT	Internet of Things
5G	Fifth Generation
D2D	Device-to-Device
ΣΒ	Σταθμός Βάσης
V2V	Vehicle-to-Vehicle
PC	Personal Computer
AP	Access Point
IP	Internet Protocol
M2M	Machine-2-Machine
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
QoS	Quality of Service
KPI	Key Performance Indicator
LTE-A	LTE-Advanced
SDN	Software Defined Networking
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
P2P	Peer-to-Peer
PAN	Personal Area Network
GPS	Global Positioning System
BAN	Body Area Network
MANET	Mobile Ad-Hoc Network
CRN	Cognitive Radio Network
UDN	Ultra Dense Networks
URLLC	Ultra-reliable and Low-Latency Communications
mMTC	massive Machine Type Communications
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
NaaS	Network as a Service
NFV	Network Functions Virtualization
C-RAN	Cloud-RAN
RAN	Radio Access Network
BBU	BaseBand Unit
RRH	Remote Radio Head
CPRI	Common Public Radio Interfaces
RF	Radio Frequency
CAPEX	Capital Expenses
OPEX	Operating Expenses
mMIMO	massive Multiple Input Multiple Output
UT	User Terminal
CSI	Channel State Information
FDMA	Frequency Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMA	Orthogonal Multiple Access

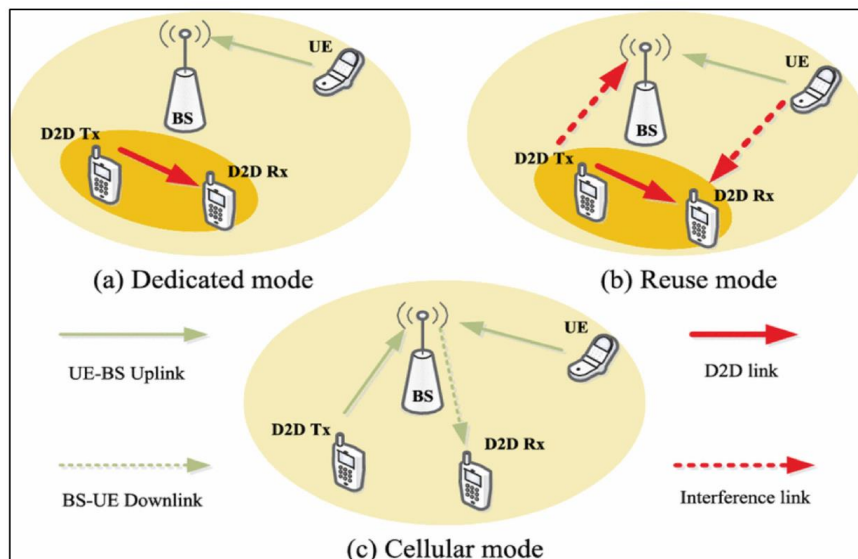
NOMA	Non Orthogonal Multiple Access
UE	User End
NBIoT	Narrowband Internet of Things
6LOWPAN	IPv6 Low energy Wireless Personal Area Network
3GPP	Third Generation Partnership Project
MTC	Machine Type Communication
SIM	Subscriber Identity Module
FD	Full Duplex
HD	Half Duplex
RAT	Radio Access Technology
MCPTT	Mission Critical Push-To-Talk
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
WLAN	Wireless Local Area Network
UL	Uplink
DL	Downlink
SC-FDMA	Single Carrier – Frequency Division Multiple Access
Prose	Proximity Services
CU	Cellular User
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
RB	Radio Band
LOS	Line-of-Sight
CIA	Confidentiality Integrity Availability
TTP	Trusted Third Party
PKI	Public Key Infrastructure
MU-MIMO	Multiple User – Multiple Input Multiple Output
SO	Successive Opportunistic
CH	Cloud Head
MC	Mobile Cloud
SSL	Secure Sockets Layer

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι νέες τεχνολογίες τροποποίησαν τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους, κυρίως στην ασύρματη επικοινωνία. Παρόλο που, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας εξακολουθούν να βασίζονται σε υποδομές. Οι επικοινωνίες πελατών κινητής τηλεφωνίας περιορίζονται από την κάλυψη του σταθμού βάσης (Base Station) και δεν επιτρέπουν την απευθείας επικοινωνία μεταξύ κινητών συσκευών. Παρόλο που ο αποστολέας και ο παραλήπτης βρίσκονται ο ένας δίπλα στον άλλο, ηδρομολόγηση της κίνησης περνά από το κεντρικό δίκτυο, έτσι η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ χρηστών κινητής τηλεφωνίας περιορίζεται. Αυτό πλέον δεν είναι επιτρεπτό αφού βλέπουμε τα τελευταία χρόνια την χρήση προσωπικού υπολογιστή να αλλάζει από PC σε laptop και να καταλήγει σε κινητές συσκευές. Λόγω της τάσης για στροφή προς τον κινητό εξοπλισμό, η κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας αυξήθηκε πάνω από 40% μεταξύ των Q1 2021 και Q1 2022 φτάνοντας τα 90 Exabyte/μήνα. Οι καινοτόμες τεχνολογίες σύνδεσης είναι ταλαντούχες στην ανταλλαγή δεδομένων κατ' απαίτηση μέσω κατάλληλων συνδέσεων δικτύου και μπορούν να κλιμακώσουν τη χωρητικότητα του δικτύου.

Η επικοινωνία συσκευής με συσκευή (D2D) θεωρείται ως πολλά υποσχόμενη προσέγγιση, η οποία επιτρέπει σε κινητές συσκευές να διασυνδέονται απευθείας μεταξύ τους χωρίς να διέρχεται από σταθμούς βάσης ή από AP(Access Points). Η προσέγγιση D2D χρησιμοποιεί την εμβέλεια των συσκευών και στοχεύει στην καλύτερη εξυπηρέτηση τους σε ένα διασκορπισμένο περιβάλλον. Για να αλληλοσυμπληρώνονται, η τεχνολογία D2D έχει την ανάγκη να συνεργάζεται με υπηρεσίες κυψελοειδών δικτύων.

Η D2D επικοινωνία είναι γενικά non-transparent στο κυψελοειδές δίκτυο και μπορεί να λειτουργήσει στο cellular φάσμα (inband) ή στο unlicensed φάσμα(outband). Πολλά σοβαρά ζητήματα πρέπει να διερευνηθούν προσεκτικά κατά τον προγραμματισμό του D2D, όπως η επιλογή mode(mode selection), ανακάλυψη συσκευής(device discovery), η κατανομή ισχύος και πόρων, η διαχείριση παρεμβολών και η ασφάλεια.



Εικόνα 1: Τρεις επιλογές μετάδοσης της D2D επικοινωνίας

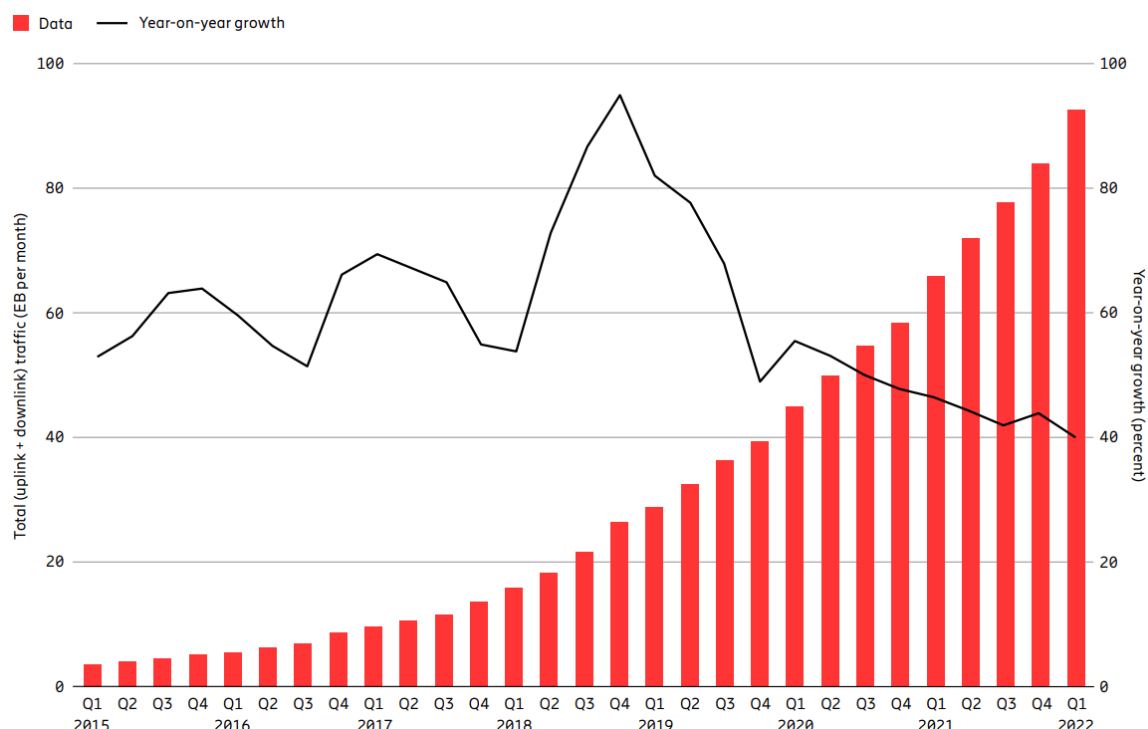
Η επόμενη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή η πέμπτη γενιά (5G) και Beyond 5G (B5G) υπόσχεται να χειριστεί τεράστιο αριθμό διαφορετικών ειδών χρηστών, εξασφαλίζοντας χαμηλό latency και υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Η τεχνολογία επικοινωνίας D2D μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη αυτών των στόχων, καθώς έχει σχεδιαστεί για να εκφορτώνει τον πυρήνα του δικτύου, να βελτιώνει το throughput και να επεκτείνει την ακτίνα κυψέλης. Ωστόσο, η χαμηλή διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών και το περιορισμένο διαθέσιμο φάσμα θεωρούνται μειονέκτημα για την επικοινωνία D2D. Για να χειριστούν αυτά τα ζητήματα, οι ερευνητές εργάζονται για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την αύξηση της φασματικής απόδοσης, επιλύοντας το πρόβλημα κατανομής φάσματος και ελέγχου ισχύος. Το πρόβλημα κατανομής φάσματος και ελέγχου ισχύος είναι μη γραμμικό και περιορισμένο από αρκετούς μη γραμμικούς περιορισμούς, γεγονός που δυσκολεύει την επίλυσή του με παραδοσιακές μεθόδους. Σε αυτή την εργασία, θα επικεντρωθούμε στην ενσωμάτωση των επικοινωνιών D2D στα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ D2D ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΝΕΕΣ ΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

1.1 Προβλέψεις για τα δίκτυα της κινητής

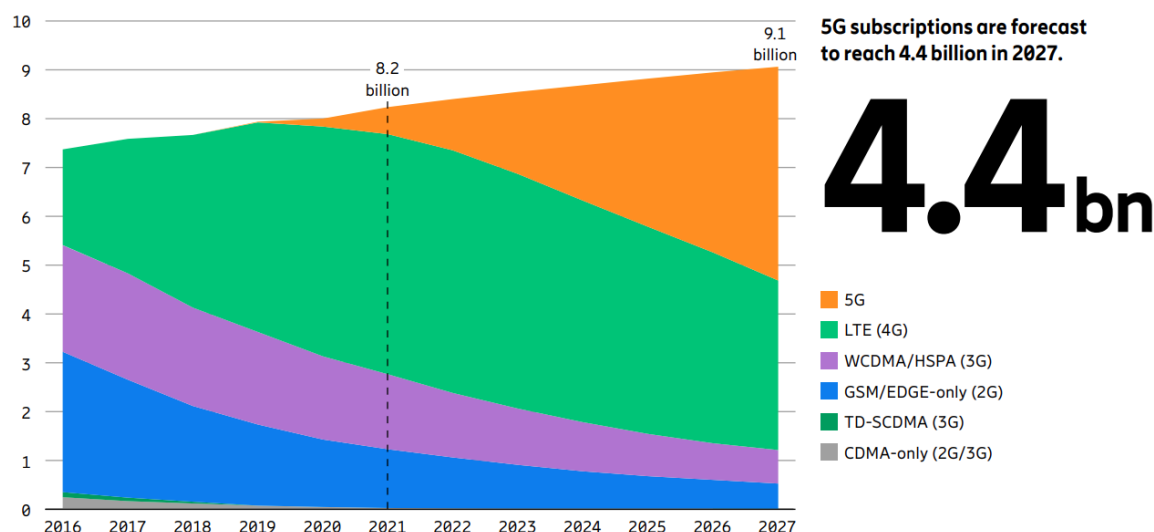
Ο τομέας των κινητών επικοινωνιών γνώρισε εκρηκτική ανάπτυξη κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, τόσο στον αριθμό των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας όσο και στις απαιτήσεις της κίνησης δεδομένων. Η δραματική αύξηση της διακίνησης δεδομένων οφείλεται κυρίως στον πολλαπλασιασμό των έξυπνων συσκευών και στη μαζική χρήση mobile εφαρμογών. Όπως αναφέρεται στο [1] η κίνηση δεδομένων δικτύου κινητής, αυξήθηκε κατά

40% μεταξύ του πρώτου τριμήνου 2021 και του πρώτου τριμήνου του 2022 και η μηνιαία μέση χρήση ανά smartphone αναμένεται να ξεπεράσει τα 15 GB το 2022. Επίσης, οι συνδρομές κινητής του 5G θα ξεπεράσουν το 1 δισεκατομμύριο το 2022 και αναμένεται να φτάσουν τα 4,4 δισεκατομμύρια το 2027.



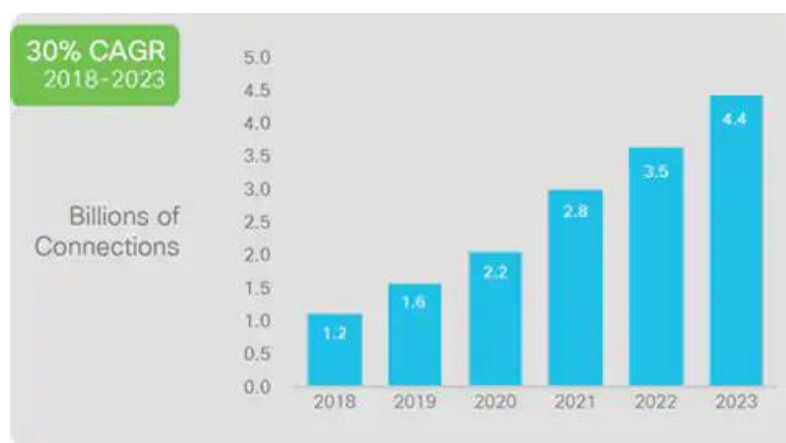
Εικόνα 2 : Παγκόσμια κίνηση δεδομένων δικτύου κινητής και ετήσια αύξηση (EB ανά μήνα)

Συνεχίζοντας, σύμφωνα με την τελευταία έκθεση της Cisco, ο αριθμός των συσκευών που θα είναι συνδεδεμένες σε δίκτυα IP θα είναι υπερτριπλάσιος του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το 2023. Θα υπάρχουν 29,3 δισεκατομμύρια δικτυωμένες συσκευές έως το 2023, από 18,4 δισεκατομμύρια το 2018. Η ταχύτερα αναπτυσσόμενη κατηγορία κινητής θα είναι η M2M (Machine-to-Machine) και ακολουθούν τα smartphones. Οι συνδέσεις M2M θα είναι το ήμισυ των παγκόσμιων συνδεδεμένων συσκευών έως το 2023.



Εικόνα 3: Συνδρομές κινητής τηλεφωνίας ανά τεχνολογία (δισεκατομμύρια)

Οι εφαρμογές M2M σε πολλές βιομηχανίες επιταχύνουν την ανάπτυξη του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT). Το IoT έχει γίνει ένα διαδεδομένο σύστημα στο οποίο άνθρωποι, διαδικασίες, δεδομένα και πράγματα συνδέονται με το διαδίκτυο και μεταξύ τους. Θα υπάρχουν 14,7 δισεκατομμύρια συνδέσεις M2M έως το 2023. Στην κατηγορία των συνδέσεων M2M (η οποία αναφέρεται επίσης ως IoT), οι συνδεδεμένες οικιακές εφαρμογές θα έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο, και το συνδεδεμένα αυτοκίνητα θα είναι ο ταχύτερα αναπτυσσόμενος τύπος εφαρμογής. Η εντυπωσιακή ανάπτυξη των φορητών συσκευών τελικού χρήστη και των συνδέσεων M2M είναι ένας σαφής δείκτης της ανάπτυξης του mobile IoT, το οποίο φέρνει κοντά ανθρώπους, διαδικασίες, δεδομένα και πράγματα για να κάνει τις δικτυωμένες συνδέσεις πιο σχετικές και πολύτιμες.



Εικόνα 4: Η παγκόσμια ανάπτυξη του mobile M2M

Η ανάγκη υποστήριξης αυτής της κυκλοφοριακής έκρηξης είναι σίγουρα η κύρια πρόκληση της επόμενης γενιάς cellular συστημάτων, που αναφέρονται ως η 5G. Στην πραγματικότητα, τα δίκτυα 5G προορίζονται να παρέχουν, μεταξύ άλλων, 1000 φορές μεγαλύτερο όγκο δεδομένων ανά περιοχή, περίπου 25 φορές μικρότερο latency, 10 φορές μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, 10 έως 100 φορές υψηλότερο ρυθμό δεδομένων χρήστη και να υποστηρίζουν 10 έως 100 φορές περισσότερες συνδεδεμένες συσκευές από τα κυψελοειδή συστήματα του LTE.

Ο σχεδιασμός ασύρματων δικτύων που να είναι σε θέση σταθούν σε αυτές τις φιλόδοξες προδιαγραφές, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη περιορισμούς όσον αφορά το κόστος, την ενέργεια και το φάσμα, είναι μεγάλη πρόκληση τόσο για τη βιομηχανία όσο και για τον ακαδημαϊκό κόσμο. Τόσο για τη βιομηχανία όσο και για τον ακαδημαϊκό κόσμο. Τα μελλοντικά συστήματα θα πρέπει να πληρούν τις νέες απαιτήσεις επικοινωνίας μέσω της εξέλιξης των υπαρχουσών τεχνολογιών, που συμπληρώνονται από νέες έννοιες τηλεπικοινωνιών.

Οι υπάρχουσες προσεγγίσεις που μπορούν να αξιοποιήσουν οι διαχειριστές για να αυξήσουν τη χωρητικότητα του συστήματος μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Αύξηση του φάσματος (π.χ. μετακίνηση σε υψηλότερες συχνότητες)
2. Βελτίωση της αποτελεσματικότητας της σύνδεσης μέσω προηγμένων τεχνολογιών επικοινωνίας (π.χ. χρησιμοποιώντας μεταδόσεις πολλαπλών κεραιών (MIMO))
3. Πύκνωση του δικτύου με την ανάπτυξη περισσότερων σταθμών βάσης και τη μείωση μεγέθους του κελιού.

Η ανάπτυξη μικρότερων κυψελών ως μέρος ετερογενών δικτύων είναι συνηθισμένη λύση για την ενίσχυση της χωρητικότητας σε πολυκατοικημένες περιοχές όπως, για παράδειγμα, σε επιχειρησιακές συνοικίες, πανεπιστήμια και εμπορικά κέντρα. Αυτό επειδή οι μικρές κυψέλες (small cells) διαχειρίζονται συνδέσεις υψηλότερης ποιότητας και επιτρέπουν αυξημένη χωρική (spatial) επαναχρησιμοποίηση. Στις πρώτες γενιές mobile συστημάτων, εισήχθη ο δικτυοκεντρικός σχεδιασμός, βασισμένος στην έννοια του uplink και του downlink. Εκείνη την εποχή, η εφαρμογή των δικτύων κινητής τηλεφωνίας ήταν κυρίως για υπηρεσίες φωνής και με την παραδοχή ότι οι χρήστες δεν βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Ωστόσο, αυτή η παραδοχή, δεν είναι πλέον βάσιμη, αφού οι κύριες τρέχουσες τάσεις είναι η κοινή χρήση περιεχομένου (αρχείων) και η κοινή χρήση ενδιαφέροντος (π.χ. διαδικτυακά παιχνίδια και κοινωνικά δίκτυα), όπου οι χρήστες που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση τυχάνει να αλληλεπιδρούν περισσότερο. Έτσι, εκτός της συρρίκνωσης των κυψελών, μια άλλη προσέγγιση για την πυκνοποίηση του δικτύου για μελλοντικά συστήματα 5G αντιπροσωπεύεται από την επικοινωνία συσκευής με συσκευή (D2D), μια ραδιοτεχνολογία που επιτρέπει στους χρήστες που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση να δημιουργήσουν μια απευθείας σύνδεση, παρακάμπτοντας το σταθμό βάσης και την υποδομή του δικτύου. Με άλλα λόγια, η επικοινωνία D2D αντικαθιστά τη συμβατική two-hop cellular σύνδεση με μια σύνδεση μικρής εμβέλειας, χαμηλής ισχύος και αμεσότητας. Αυτό θα αλλάξει τη φύση του συμβατικού σχεδιασμού δικτύου.

1.2 Οι απαιτήσεις της νέας γενιάς 5G

Τα τελευταία χρόνια, δεν ήταν καν σαφές τι σημαίνει πραγματικά το «5G» και τι είδους τεχνολογίες, πρωτόκολλα επικοινωνίας και εφαρμογές θα είναι οι μεγαλύτεροι μοχλοί αυτής της νέας cellular υποδομής. Καθώς αναγνωρίζονται οι τεχνολογικοί πυλώνες της νέας αρχιτεκτονικής των 5G δικτύων, μία ποικιλία ασυρμάτων τεχνολογιών συνεργάζονται για την

υποστήριξη των απαιτητικών εφαρμογών και υπηρεσιών που εμφανίζονται. Παρά τη μεγάλη πρόοδο σε πολλούς τομείς, οι υλοποιήσεις της 5G γενιάς ενδέχεται να εξακολουθούν να υποφέρουν από έλλειψη bandwidth λόγω της αναποτελεσματικής χρήσης του ραδιοφάσματος, κάτι που απαιτεί άμεση δράση.

Υπάρχουν αρκετά ευρέως συζητημένα κριτήρια απόδοσης των συστημάτων πέμπτης γενιάς (5G):

- Ουσιαστικά απεριόριστη χωρητικότητα και πανταχού παρούσα κάλυψη που εισάγει τη συνδεσιμότητα «οποτεδήποτε και οπουδήποτε» (anytime & anywhere).
- Σοβαρή αύξηση της απόδοσης δικτύου (1 – 10 Gbps).
- Υψηλός βαθμός ευελιξίας και ευφυΐας δικτύου όλων των εμπλεκόμενων στοιχείων τεχνολογίας για την ορθή λειτουργία των “on demand” υπηρεσιών – όσον αφορά την τήρηση της συμφωνημένης Quality of Service (QoS) και Quality of Experience (QoE)
- Σημαντικά χαμηλότερο end-to-end latency (κάτω από 1 ms) για να ενεργοποιηθούν νέα σενάρια εφαρμογών, π.χ. Tactile Internet (TI)
- Απεριόριστη κινητικότητα για την επίτευξη της κινητής ευρυζωνικότητας ακόμη και για πολύ γρήγορα κινούμενα αντικείμενα (έως 500 km/h)
- Ενεργειακά αποδοτική επικοινωνία για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας όσον αφορά τους τελικούς χρήστες αλλά και τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους.

Τα δίκτυα 5G είναι θεμελιωδώς διαφορετικά από τις προηγούμενες γενιές κυψελοειδών συστημάτων. Δεν είναι απλώς μία εξέλιξη του 4G, αλλά είναι εξ 'αρχής υλοποιημένα σαν ένα οριοθετημένο σύνολο τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνίας[13].

1.3 D2D επικοινωνία πριν το 5G

Η επικοινωνία D2D δεν είναι μια νέα ιδέα: η άμεση επικοινωνία μεταξύ κινητών συσκευών πραγματοποιήθηκε, για παράδειγμα, με walkie-talkies κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκόσμιου Πολέμου. Ωστόσο, δεν ενσωματώθηκε στο παγκόσμιο σύστημα επικοινωνίας. Από τότε, δεν εξελίχθηκε με την ίδια ταχύτητα με την κινητή επικοινωνία, και περιοριζόταν κυρίως στις υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας.

Τα τρέχοντα δίκτυα μπορεί να προσφέρουν καλή ποιότητα υπηρεσιών (QoS) σε απομονωμένες περιοχές, αλλά δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις ακραίες απαιτήσεις χωρητικότητας σε περιπτώσεις που πρέπει να χειριστούν καταστάσεις που οι χρήστες βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, όπως εμπορικά κέντρα, φεστιβάλ, στάδια, ακόμη και κτίρια γραφείων. Η αύξηση της χωρητικότητας και της συνδεσιμότητας θα μεταφραστεί σε υψηλότερη ενέργεια κατανάλωσης και κόστους, τα οποία με τη σειρά τους δεν είναι οικονομικά ή βιώσιμα από λειτουργική προοπτική.

Τώρα, είμαστε στα πρόθυρα της μετάβασης σε μια κατάσταση μίας πλήρως συνδεδεμένης κοινωνίας όπου απαιτείται υψηλή χωρητικότητα, αλλά οι σταδιακές αλλαγές στα σημερινά συστήματα και τεχνολογίες δεν αρκούν για να πραγματοποιηθεί αυτή η μετάβαση. Επομένως,

αυστηροί βασικοί δείκτες απόδοσης (KPIs) και αυστηρές απαιτήσεις έχουν προταθεί για τη διαχείριση υψηλότερων όγκων δεδομένων κινητής, μειωμένου latency και αυξημένου αριθμού συνδεδεμένων συσκευών, ενώ ταυτόχρονα θα χρειαστεί να αυξηθεί η ενεργειακή απόδοση και να μειωθεί το κόστος. Το 5G προτείνει επίσης μια βελτίωση σε ήδη αναπτυγμένες τεχνικές επικοινωνίας D2D, η οποία έχει ήδη εισαχθεί στο LTE-A (LTE advanced). Το 5G επίσης θα επηρεάσει την βασική υποδομή ενεργοποιώντας τα software defined networks (SDN), το packet layering και την ευελιξία της κρυπτογράφησης.

Ακαδημαϊκά, η επικοινωνία D2D προτάθηκε για πρώτη φορά στο [4] για την εισαγωγή της multihop relay τεχνολογίας σε δίκτυα κινητής. Αργότερα τα έργα στο [5] διερεύνησαν τις δυνατότητες των επικοινωνιών D2D για τη βελτίωση της φασματικής απόδοσης των κυψελοειδών δικτύων. Λίγο αργότερα, άλλες πιθανές περιπτώσεις χρήσης (use cases) D2D εισήχθησαν στη βιβλιογραφία όπως multicasting, peer-to-peer επικοινωνία, διάδοση βίντεο, επικοινωνία μηχανής-μηχανής (M2M), εκφόρτωση (offload) της κυψέλης, και ούτω καθεξής.

1.4 Τεχνολογίες D2D εκτός δικτύου κινητής

Οι πιο χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες που προσδιορίζουν την ανάγκη για επικοινωνία κοντινής απόστασης είναι τα Bluetooth και WiFi direct.

Wi-Fi Direct

Το Wi-Fi Direct επιτρέπει στις κινητές συσκευές (π.χ. smartphone, tablet) να συνδέονται απευθείας μέσω unlicensed μπάντας και να μεταφέρουν περιεχόμενο ή να μοιράζονται εφαρμογές οποτεδήποτε και οπουδήποτε. Αν και η ιδέα της υποστήριξης άμεσων συνδέσεων είχε σχεδιαστεί στο αρχικό πρότυπο IEEE 802.11 μέσω της λειτουργίας ad-hoc, η έλλειψη αποτελεσματικής εξοικονόμησης ενέργειας και βελτιωμένης υποστήριξης QoS έχει περιορίσει τη διείσδυση αυτής της λειτουργίας στην αγορά.

Η Wi-Fi Alliance πιστοποίησε το Wi-Fi Direct να υποστηρίζει διασυνδέσεις peer-to-peer (P2P) μεταξύ συσκευών 802.11 εκμεταλλευόμενο από τις δυνατότητες των ad-hoc λειτουργιών και των λειτουργιών υποδομής. Το Wi-Fi Direct επιτρέπει στις συσκευές να υλοποιούν τον ρόλο είτε πελάτη είτε access point (AP) και, ως εκ τούτου, να επωφελούνται από όλους τους βελτιωμένους μηχανισμούς QoS, εξοικονόμησης ενέργειας και ασφάλειας που είναι τυπικοί στη συγκεκριμένη υποδομή. Οι συσκευές Wi-Fi Direct μπορούν να συνδεθούν για μια μεμονωμένη ανταλλαγή ή μπορούν να διατηρήσουν τη μνήμη της διασύνδεσης και να συνδέονται μεταξύ τους κάθε φορά που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Η ανταλλαγή δεδομένων επιτυγχάνεται με τη δημιουργία μιας ομάδας P2P, όπου μια συσκευή με ρόλο ιδιοκτήτη ομάδας P2P (P2P GO) μπορεί να επιτρέψει τη διασύνδεση συσκευών που ανήκουν στο συγκεκριμένο γκρουπ με ένα εξωτερικό δίκτυο.

Bluetooth

Το Bluetooth, μαζί με το WiFi, είναι η πιο ευρέως γνωστή τεχνολογία D2D που λειτουργεί στην unlicensed ζώνη των 2,4 GHz. Το Bluetooth παρέχει ασύρματη συνδεσιμότητα σε προσωπικά δίκτυα (PANs). Προκειμένου να ενεργοποιηθούν οι συνδέσεις μικρής εμβέλειας, μία συσκευή γίνεται ο master της σύνδεσης(ών) εξυπηρετώντας έως και επτά slaves (πελάτες) σχηματίζοντας ένα piconet. Το Bluetooth Low Energy (BLE) έχει πιστοποιηθεί για να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των συσκευών IoT.

Το πρόβλημα με το Bluetooth και το Wi-Fi Direct είναι ότι απαιτούν χειροκίνητη σύζευξη μεταξύ των συσκευών.

NFC – RFID

Ο όρος RFID αναφέρεται σε μια οικογένεια ραδιοτεχνολογιών των οποίων ο κύριος στόχος είναι να παρέχει γρήγορη αναγνώριση αντικειμένων μέσω της αλληλεπίδρασης μεταξύ πομποδεκτών, γνωστών επίσης ως ετικετών, και αναγνωστών. Οι πρώτοι απαντούν με τους κωδικούς αναγνώρισής τους όταν ερωτώνται από τον αναγνώστη, ο οποίος διαχειρίζεται τη συνολική διαδικασία ανταλλαγής δεδομένων. Τα RFID μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τη συχνότητα λειτουργίας, το radio interface, το εύρος επικοινωνίας και την αυτονομία ετικέτας (εντελώς παθητική, ημιπαθητική, ενεργή). Για επικοινωνίες μικρής εμβέλειας, η τεχνολογία NFC παίζει εξέχοντα ρόλο για στην ευρεία χρησιμοποίησή της, καθώς περιλαμβάνεται εργοστασιακά στα σύγχρονα smartphones. Εκτός από την αλληλεπίδραση με ετικέτες, περιλαμβάνει μια λειτουργία peer-to-peer μέσω της οποίας οι συσκευές μπορούν να ανταλλάσσουν απευθείας δεδομένα κάθε είδους.

Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα UHF RFID είναι η λύση για την αναγνώριση αντικειμένων μεγάλης εμβέλειας και τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού παγκοσμίως. Η εξέλιξη των έξυπνων ετικετών RFID UHF με ενσωματωμένους αισθητήρες και σμικρύνσεις των αναγνωστών(readers) προωθεί αυτήν την τεχνολογία για το οικοσύστημα IoT.

UWB

Σύμφωνα με την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC), οι επικοινωνίες UWB χρησιμοποιούν bandwidth κάτω των 500 MHz σε εύρος συχνοτήτων μεταξύ 3,1 και 10,6 GHz. Αυτό ταξινομεί το UWB ως ευαίσθητο περιβάλλον εσωτερικών επικοινωνιών. Οι ασύρματες οθόνες και οι συσκευές αναπαραγωγής βίντεο χρησιμοποιούν το προαναφερθέν εύρος για μετάδοση δεδομένων έως και 480 Mbps. Το UWB είναι ιδανικός υποψήφιος για ακριβή εντοπισμό για εσωτερικούς χώρους, το οποίο μπορεί να συνοδεύει το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS).

Zigbee

Βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4 και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις χαμηλού ρυθμού δεδομένων. Η ένωση Zigbee έχει ασχοληθεί με λύσεις έξυπνου οικιακού και βιομηχανικού

αυτοματισμού, καθώς λειτουργούν γενικά με ρυθμούς δεδομένων μεταξύ 20 και 250 kbps. Το Zigbee μπορεί να χρησιμοποιήσει τρεις τοπολογίες δικτύου (αστέρα, cluster tree και mesh) και μπορεί να υποστηρίξει το multihop routing. Ορισμένα νέα έργα που προτείνονται για τη χρήση του Zigbee είναι για body area networks (BANs) και για σε εσωτερικά περιβάλλοντα όπως νοσοκομεία ή σπίτια.

Bluetooth Low Energy

Το BLE είναι η βελτιωμένη έκδοση του Bluetooth Low End Extension (BLEE). Η πρώτη του εισαγωγή έγινε από τη Nokia το 2004 για να προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης μεταξύ κινητών τερματικών και μικρών συσκευών. Το BLE μπορεί να βελτιώσει τους ρυθμούς δεδομένων (φτάνουν στο 1 Mbps) με ταχύτερο συγχρονισμό. Μπορούμε να χωρίσουμε τα προϊόντα BLE σε δύο κατηγορίες, που είναι τα τσιπ διπλής λειτουργίας και τα αυτόνομα τσιπ. Τα αυτόνομα τσιπ επικοινωνούν μόνο μεταξύ τους, ενώ τα τσιπ διπλής λειτουργίας επικοινωνούν και με άλλες συσκευές.

Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες λειτουργούν στην unlicensed ζώνη στην οποία οι χρήστες δεν έχουν αποκλειστικά δικαιώματα και όπου επίσης δεν υπάρχει σωστός συντονισμός μεταξύ τους. Στη συνέχεια, ο συγχρονισμός και ο εντοπισμός εξαντλούν γρήγορα τις μπαταρίες των συσκευών. Συστήματα που λειτουργούν σε unlicensed μπάντες θα πρέπει να χρησιμοποιούν περιορισμένη ισχύ και να ακολουθούν συγκεκριμένους κανόνες για να μπορούν να διαχειριστούν τις παρεμβολές. Η εμβέλεια λειτουργίας περιορίζεται σε λίγα μέτρα ειδικά για Bluetooth και Zigbee. Ωστόσο, αυτά τα προβλήματα μπορούν να λυθούν από τον έλεγχο του σταθμού βάσης (Σ.Β) στην network-assisted D2D επικοινωνία.

1.5 MANET και CRN

Mobile Ad-Hoc Networks(MANET)

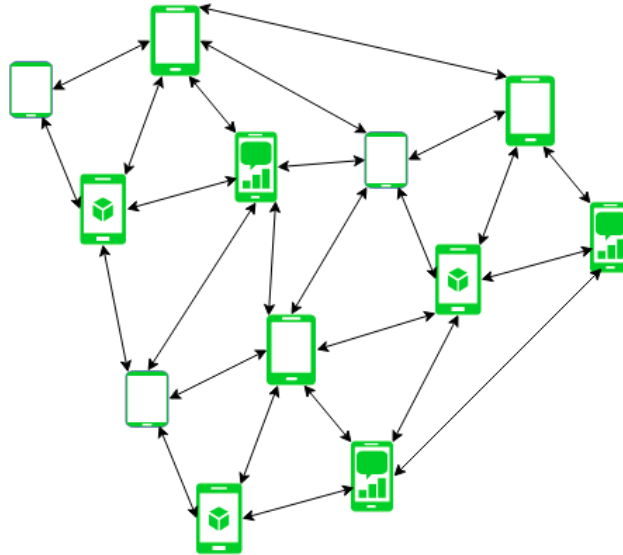
Πριν ξεκινήσουμε την ανάλυση του D2D, είναι σημαντικό να το συγκρίνουμε με τα Mobile Ad-Hoc Δίκτυα (MANET), Δίκτυα (MANET), τα οποία έχουν διερευνηθεί σε μεγάλο βαθμό για περίπου τρεις δεκαετίες. Λειτουργούν σε ραδιοσυχνότητες (30MHz-5GHz) και περισσότερο χρησιμοποιούνται από αισθητήρες που εξυπηρετούν την οδική ασφάλεια, το περιβάλλον, το σπίτι, την υγεία και τις επιχειρήσεις. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί σε διασώσεις από καταστροφές, και στον στρατό, άμυνα, όπλα, ρομπότ κ.λπ.

Πλεονεκτήματα:

1. Δεν εξαρτώνται από κάποια διαχείριση του κεντρικού δικτύου.
2. Κάθε κόμβος μπορεί να παίξει και τους δύο ρόλους π.χ. του δρομολογητή και του κεντρικού υπολογιστή δείχνοντας αυτόνομο χαρακτήρα.
3. Οι κόμβοι τους αυτοπαραμετροποιούνται και αυτοδιορθώνονται χωρίς να απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση.

Μειονεκτήματα:

1. Οι πόροι είναι περιορισμένοι λόγω διαφόρων περιορισμών όπως θόρυβος, συνθήκες παρεμβολής κ.λπ.
2. Έλλειψη μηχανισμών authorization.
3. Πιο επιρρεπείς σε επιθέσεις λόγω περιορισμένης φυσικής ασφάλειας.



Εικόνα 5: Mobile Ad-hoc Network[49]

Η κύρια ιδιαιτερότητα του D2D είναι η ύπαρξη υποδομής δικτύου (δηλαδή Σ.Β.) που παρέχει τη βοήθεια για διαφορετικές λειτουργίες ελέγχου. (π.χ. κατανομή πόρων, ρύθμιση του session, συγχρονισμό κ.λπ.) που δεν χρησιμοποιούνται στο MANET. Επιπλέον, η τεχνική D2D αποτελείται από μονό hop ή από διπλό hop που ενεργοποιείται μόνο σε καταστάσεις που επωφελεί τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον, η τεχνική D2D χρησιμοποιεί μονά ή διπλά hops, αναλόγως που είναι απαραίτητα. Ωστόσο στο MANET μπορεί να απαιτείται multi-hop routing προκαλώντας υποβάθμιση στην απόδοση του δικτύου. Σε σενάρια δημόσιας ασφάλειας, η υποστήριξη υποδομής μπορεί να μην είναι διαθέσιμη και το D2D μπορεί να μοιάζει περισσότερο σαν ένα MANET. Σε τέτοια σενάρια, το D2D χρησιμοποιείται μόνο για την παροχή στοιχειώδους υπηρεσίας και όχι π.χ. σαν ένα πλήρες MANET (που μπορεί να αναπτυχθεί για video streaming). Επί πλέον, σε σενάρια εκτός κάλυψης, οι συσκευές τις περισσότερες φορές είναι σε clustered τοπολογία και μία συσκευή που ονομάζεται cluster head μπορεί να παίξει το ρόλο του σταθμού βάσης. Αν και απλούστερο από ένα MANET, προσθέτοντας πολλές λειτουργίες σε D2D cellular δίκτυα είναι πιθανό να αντιμετωπίσουμε αρκετές προκλήσεις.

CRN (Cognitive Radio Networks)

Το cognitive radio είναι μια μορφή ασύρματης επικοινωνίας στην οποία ένας πομποδέκτης μπορεί να ανιχνεύσει έξυπνα ποια κανάλια επικοινωνίας χρησιμοποιούνται και ποια όχι. Μετακινείται αμέσως σε κενά κανάλια αποφεύγοντας τα κατειλημμένα. Οι χρήστες του Cognitive Radio είναι unlicensed χρήστες που βρίσκουν αχρησιμοποίητο licensed φάσμα

δυναμικά για δική του χρήση χωρίς να προκαλούν παρεμβολές στους υπόλοιπους licensed χρήστες.

D2D vs CRN/MANET

Η εμπλοκή του cellular δικτύου στο επίπεδο ελέγχου(control plane) είναι η βασική διαφορά των D2D και MANET/CRN. μεταξύ D2D και MANET και CRN. Η διαθεσιμότητα μίας επιβλέπουσας/διαχειριστικής κεντρικής οντότητας στις συνδέσεις D2D επιλύει πολλές υπάρχουσες προκλήσεις των MANET και CRN όπως την ανίχνευση λευκού χώρου, την αποφυγή collisions και τον συγχρονισμό. Επιπλέον, η επικοινωνία D2D χρησιμοποιείται κυρίως για single hop sessions, επομένως, δεν κληρονομεί το multihop routing πρόβλημα του MANET.

D2D Δίκτυα με υποδομή	Ad-hoc Δίκτυα
Λειτουργούν σε unlicensed και licensed μπάντες	Λειτουργούν σε licensed μπάντες(Υψηλό ρίσκο ασφάλειας)
Κεντρικός Έλεγχος	Χωρίς κεντρικό έλεγχο
Χρησιμοποιούνται περισσότερο σε relay με μονό ή διπλό hop	Λειτουργούν με πολλαπλά hops
Προτεινόμενα για πολύ πυκνά περιβάλλοντα	Δεν προτείνονται για πυκνά περιβάλλοντα

Πίνακας 1: D2D δίκτυα με υποδομή vs Ad-hoc δίκτυα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΙΑ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ 5G/IoT

2.1 Απαιτήσεις τεχνολογίας

Ενίσχυση της mobile ευρυζωνικότητας

Η τεράστια ανάπτυξη σε κάθε είδους συσκευές που καταναλώνουν δεδομένα, σε συνδυασμό με τη βελτίωση των εφαρμογών πολυμέσων, έχει προκαλέσει μεγάλη αύξηση του όγκου της κίνησης δεδομένων της κινητής. Οι χρήστες κινητών αναμένουν, συνεχώς, να είναι άψογα συνδεδεμένοι, σε οποιαδήποτε συσκευή και σε οποιαδήποτε τοποθεσία. Αυτό δημιουργεί σοβαρές πιέσεις στα δίκτυα 5G, τα οποία πρέπει να προσφέρουν τους χρήστες μια απρόσκοπτη και ομοιόμορφη εμπειρία συνδεσιμότητας χωρίς να εξετάζουν πού βρίσκονται ή από ποιο δίκτυο/συσκευή συνδέονται.

Massive-to-Machine επικοινωνία

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει τεράστιο ενδιαφέρον των παρόχων για τα πεδία των Internet of Things (IoT) και Machine-to-Machine (M2M). Μαζί, αυτά περιλαμβάνουν δισεκατομμύρια καθημερινά συνδεδεμένες συσκευές με ασύρματα δίκτυα. Μπορεί κανείς να φανταστεί τη δημιουργία ενός μεγάλου αριθμού εφαρμογών συνδέοντας χιλιάδες αντικείμενα κάθε είδους.

Κάποια παραδείγματα:

- Έξυπνες πόλεις/σπίτια, στα οποία οι έξυπνες συσκευές μειώνουν αυτόνομα το κόστος και την κατανάλωση ενέργειας.
- Εξ αποστάσεως παρακολούθηση ιατρικού και βιομηχανικού εξοπλισμού.
- Απομακρυσμένη ανίχνευση οικολογικών μετρήσεων όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, η πίεση του νερού κλπ..

Low-latency and Ultra-reliable Communications

Περισσότερο αναφερόμαστε στις εφαρμογές IoT οι οποίες είναι πολύ αυστηρές ως προς τις ανάγκες για χαμηλό latency, για αξιοπιστία και για διαθεσιμότητα δικτύου.

Κάποια παραδείγματα:

- Επικοινωνία Vehicle-to-Vehicle (V2V) στην οποία τα αυτοκίνητα ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο για την αποφυγή ατυχημάτων.
- Δίκτυα σώματος (BANs) στα οποία παρακολουθούνται ζωτικά σημεία και ανταποκρίνονται σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης εάν η ζωή ενός ανθρώπου κινδυνεύει.
- Ασύρματος έλεγχος παραγωγικών διαδικασιών ή βιομηχανικής κατασκευής.

Όπως αποδεικνύεται από διάφορα use cases που έχουν αρχίσει να κάνουν την εμφάνισή τους, τα δίκτυα 5G θα πρέπει να φέρουν μεγάλη βελτίωση της απόδοσης από το 4G, που περιλαμβάνει μικτό latency, κάλυψη, ρυθμό αιχμής και φασματική απόδοση. Ο Πίνακας 2 συνοψίζει τις διαφορές μεταξύ 4G και 5G αναφέροντας τις αναμενόμενες επιδόσεις των δικτύων 5G.

Απαιτήσεις	Επεξήγηση απαιτήσεων	4G	5G
Ρυθμός δεδομένων χρήτη	Ελάχιστος επιτεύξιμος ρυθμός δεδομένων για χρήστη σε πραγματικό περιβάλλον δικτύου	10 Mbps	100 Mbps

Πυκνότητα συνδέσεων	Συνολικός αριθμός συνδεδεμένων συσκευών ανά μονάδα επιφάνειας	10^5 Συσκευές/ Km ²	10^6 Συσκευές/Km ²
Πυκνότητα κίνησης πληροφορίας	Κίνηση πληροφορίας όλων των χρηστών ανά μονάδα επιφάνειας	0.1 Mbps/m ²	10 Mbps/m ²
Κινητικότητα	Σχετική ταχύτητα μεταξύ πομπού και δέκτη	350 Km/h	500 Km/h
Μέγιστος ρυθμός δεδομένων	Μέγιστος επιτεύξιμος ρυθμός δεδομένων ανά χρήστη	1 Gbps	20 Gbps
Latency	Καθυστέρηση από τη στιγμή αποστολής ενός πακέτου από τον πομπό μέχρι τη λήψη από τον δέκτη	10 ms	<1 ms

Πίνακας 2: Σύγκριση μεταξύ 4G και 5G δικτύων [14]

Βελτίωση της Ενεργειακής Απόδοσης

Όταν μιλάμε για ενεργειακή απόδοση μπορεί να εννοούμε αυτή της υποδομής του δικτύου ή αυτή του τερματικού. Υψηλότερη ενεργειακή απόδοση του δικτύου και του τερματικού συνεπάγεται χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, αντίστοιχα. Οι τεχνολογίες του 5G (μαζικά MIMO, UDN, κ.λπ.) μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα της σύνδεσης, γεγονός που μειώνει την κατανάλωση ενέργειας σε μία ραδιοζεύξη. Τόσο το δίκτυο όσο και το τερματικό μπορούν να εξοικονομήσουν κατανάλωση ενέργειας ταυτόχρονα.

Όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση του δικτύου, η αρχιτεκτονική του δικτύου θα πρέπει να είναι σε θέση να ενεργοποιήσει/απενεργοποιήσει το σταθμό βάσης της μικρής κυψέλης ανάλογα με τον φόρτο κίνησης διατηρώντας παράλληλα την κάλυψη από την macro κυψέλη. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η δυναμική ενεργοποίηση/απενεργοποίηση χρειάζεται επίσης τη συνεργασία και τον συντονισμό μεταξύ πολλών κυψελών με συνδυαστικό κάποιο τρόπο κεντρικής διαχείρισης. Φαίνεται ότι εκτός από τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του εξοπλισμού, η αρχιτεκτονική δικτύου 5G μπορεί επίσης να αυξήσει τη συνολική ενεργειακή απόδοση μέσω virtualization του δικτύου και μέσω κεντρικού συντονισμού και διαχείρισης των πόρων του δικτύου.

Διαχείριση πόρων

Το δίκτυο θα πρέπει να παρέχει ελέγχους πρόσβασης, μηχανισμούς policy και χρεώσεων, και πρωτόκολλα για δυναμική εγκατάσταση, διαμόρφωση, αναδιαμόρφωση και απελευθέρωση οποιουδήποτε τύπου πόρων (bandwidth, υπολογιστική ισχύ, μνήμη, αποθηκευτικό χώρο) για

κάθε τύπο συσκευών (π.χ. τερματικό, αυτοκίνητο, ρομπότ, drone, κ.λπ.) και υπηρεσίες (π.χ. δίκτυο, ασφάλεια, δεδομένα, γνώση, μηχανή και Thing as a Service) με στόχο την End to End υποστήριξη όπου χρειάζεται.

Ευέλικτη τιμολόγηση

Το cellular δίκτυο θα πρέπει να παρέχει μεθόδους για ευέλικτους μηχανισμούς τιμολόγησης μεταξύ διαφορετικών μερών της 5G αλυσίδας, προκειμένου να δημιουργηθούν νέα standards τιμολόγησης που να είναι κοινά σε όλες της βιομηχανίες που θα χρησιμοποιούν την υποδομή του 5G. Επιπλέον, τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα θα μπορούσαν να εξετάσουν την υποκείμενη τεχνολογία (π.χ. ασύρματη ή κινητή, παλαιού τύπου ή μεταγενέστερη) καθώς και άλλες πτυχές όπως η συνεισφορά μιας ιδιόκτητης μικρής κυψέλης στην υποδομή του φορέα εκμετάλλευσης μέσω της ανοιχτής πρόσβασής της.

2.2 Βασική αρχιτεκτονική του 5G

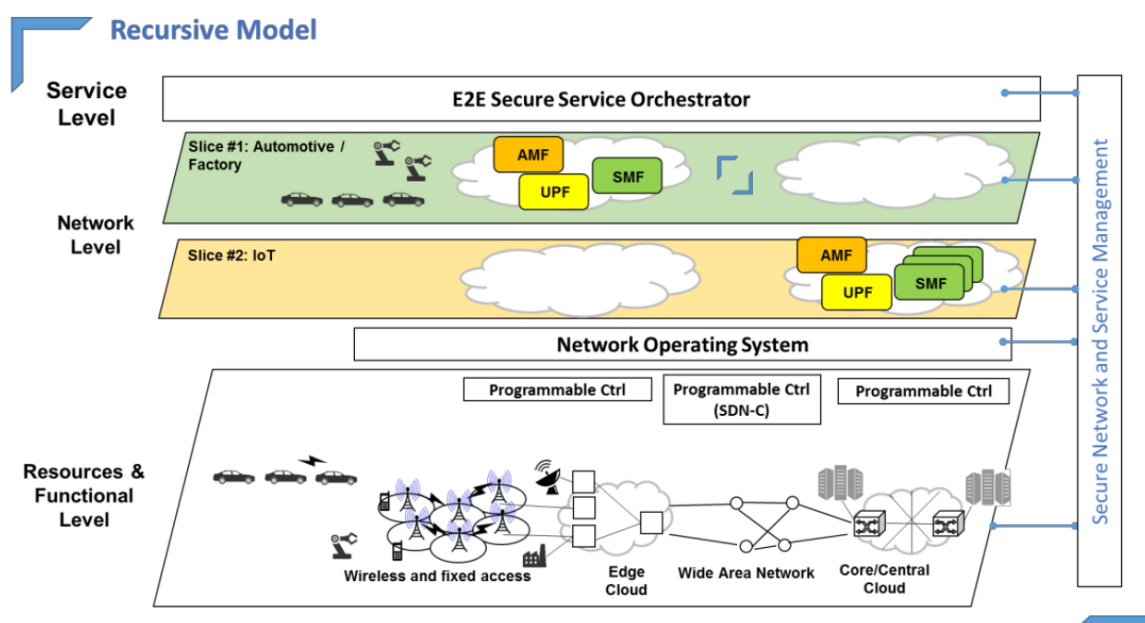
Η αρχιτεκτονική του 5G είναι πολύ προηγμένη και νέα τα στοιχεία δικτύου και τερματικά που την αποτελούν είναι χαρακτηριστικά αναβαθμισμένα για να συμβαδίσουν με τη νέα κατάσταση. Ομοίως, οι πάροχοι μπορούν να εφαρμόσουν την προηγμένη τεχνολογία για να υιοθετήσουν εύκολα τις νέες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας. Ωστόσο, η δυνατότητα αναβάθμισης βασίζεται στην τεχνολογία των cognitive radios που περιλαμβάνει διάφορες σημαντικές λειτουργίες, όπως η ικανότητα των συσκευών να προσδιορίζουν τη γεωγραφική τους θέση καθώς και τον καιρό, τη θερμοκρασία κ.λπ.. Το μοντέλο συστήματος του 5G είναι εξ ολοκλήρου βασισμένο σε IP μοντέλο σχεδιασμένο για ασύρματα και mobile δίκτυα. Το σύστημα αποτελείται από ένα κύριο τερματικό χρήστη και στη συνέχεια από έναν αριθμό ανεξάρτητων και αυτόνομων τεχνολογιών πρόσβασης. Κάθε μία από τις τεχνολογίες αυτές θεωρείται ως μία IP πρόσβαση για στον έξω κόσμο του Διαδικτύου. Η τεχνολογία IP έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για να διασφαλίζει επαρκή δεδομένα ελέγχου για την κατάλληλη δρομολόγηση πακέτων IP που σχετίζονται με συγκεκριμένες συνδέσεις εφαρμογής, δηλαδή συνεδρίες μεταξύ εφαρμογών πελάτη και διακομιστών κάπου στο Διαδίκτυο. Επιπλέον, για να γίνει προσβάσιμη η δρομολόγηση των πακέτων θα πρέπει να καθοριστεί σύμφωνα με τις δεδομένες πολιτικές του χρήστη. Υπάρχουν διαφορετικές ενότητες στην αρχιτεκτονική 5G όπως core, cellular, wireless mobile και network.

Στην επίσημη προτυποποίηση του 5G υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις χρήσης (use cases), οι οποίες προσπαθούν να κατηγοριοποιήσουν το ευρύ φάσμα των υπηρεσιών. Οι 3 βασικότερες περιπτώσεις χρήσης είναι οι εξής:

1. URLLC (Ultra-reliable and low-latency communications)
2. mMTC (massive Machine type communications)
3. eMBB (enhanced mobile broadband)

Με βάση λοιπόν τις παραπάνω διαφορετικές προσεγγίσεις, το δίκτυο 5G παρέχει υπηρεσίες με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζονται νέες και καινοτόμες επιχειρήσεις όπως eHealth, δίκτυο αυτοκινήτων κτλ. Αυτό το πετυχαίνει ακολουθώντας την SDN μέθοδο Network as a Service (NaaS) που επιτρέπει τη διαχείριση των πόρων του δικτύου με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζεται η κάθε υπηρεσία ανεξαρτήτως απαιτήσεων σε latency, bandwidth, ασφάλεια κλπ.. Έτσι, υπηρεσίες και ιδέες όπως το IoT (Internet of Things) και πολλές εφαρμογές του που απαιτούν εντελώς διαφορετικά επίπεδα παραμέτρων απόδοσης, μπορούν να υλοποιηθούν.

Χρειάζεται λοιπόν μία αναδιάρθρωση της αρχιτεκτονικής του δικτύου όπως την ξέραμε μέχρι σήμερα, για να μπορέσει να υποστηρίξει πολλά εικονικά δίκτυα σε μία κοινή φυσική υποδομή επιτρέποντας έτσι την ενεργοποίηση ενός προγραμματισμένου δικτύου στο οποίο πολλές λειτουργίες του μπορούν να επιτευχθούν μέσω αλλαγής software. Έτσι λοιπόν οι ερευνητές έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα πως το 5G πρέπει να κινείται πάνω στο virtualization, και όχι μόνο στην στήριξη των φυσικών υποδομών που μας είναι διαθέσιμες. Το virtualization θα επιτευχθεί μέσω μεθόδων SDN (Software-Defined Networking), και NFV (Network Functions Virtualization). Πολύ σημαντικό ρόλο θα παίζει και το network slicing που θα αναφέρουμε παρακάτω.



Εικόνα 6: Το όραμα για virtualization του 5G

2.3 Cloud-RAN (C-RAN)

Η αρχιτεκτονική RAN δεν είναι ικανή να αντιμετωπίσει την εκρηκτική ανάπτυξη δεδομένων. Αυτό δεν ισχύει, ωστόσο, μόνο επειδή ο όγκος των δεδομένων αυξάνεται. Οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι η ζήτηση κίνησης σε στιγμές αιχμής αυξάνεται ταχύτερα από τη μέση αύξηση δεδομένων. Η ζήτηση κίνησης σε ώρες αιχμής μπορεί να είναι πολλές φορές υψηλότερη από

τη ζήτηση κίνησης εκτός αιχμής. Παραδοσιακά, οι πόροι του δικτύου παρέχονται με βάση την κίνηση σε ώρες αιχμής και με αποκλειστικούς πόρους, όπως το φάσμα και η επεξεργαστική ισχύς. Με μια τέτοια προσέγγιση ορισμένοι Σ.Β. μπορεί αντιμετωπίζουν συμφόρηση ενώ άλλοι είναι ελαφρά φορτωμένοι. Με τα εξαιρετικά πυκνά δίκτυα(UDN) αυτή η ανισορροπία μπορεί να φτάσει σε χειρότερα επίπεδα.

Για να μπορέσει να ανταπεξέλθει το 5G δίκτυο στις απαιτήσεις της κοινωνίας για δικτύωση, δημιουργήθηκε η ανάγκη για ένα πιο εξελιγμένο RAN δίκτυο, το C-RAN δηλαδή Cloud Radio Access Network (ή Centralized RAN) το οποίο είναι πιο φθηνό όσον αφορά το κόστος για εγκαταστάσεις όσο και το κόστος που αφορά τις λειτουργίες του. Το C-RAN θεωρείται αρκετά αποδοτικό καθώς μπορεί να συνδυάσει τις ασύρματες τεχνολογίες με τις τεχνολογίες του IT (Information Technology) εντάσσοντας το cloud computing στο κλασικό RAN.

Τα κύρια στοιχεία της αρχιτεκτονικής του C-RAN είναι τα BBU (Baseband Units) που βρίσκονται σε ένα cloud data center, τα RRH (Remote Radio Heads) που βρίσκονται στις κυψέλες, και τα CPRI (Common Public Radio Interfaces) όπου όλοι οι υπολογιστικοί πόροι BBU συγκεντρώνονται σε ένα σημείο και τα RRH λαμβάνουν όλα τα σήματα από κεραίες και τα προωθούν σε ένα cloud platform. Τα BBU συνδέονται με τα RRH μέσω fronthaul συνδέσεων. Η επεξεργασία σήματος και η διαχείριση παρεμβολών είναι συγκεντρωμένες στην BBU pool. Με αυτή τη μέθοδο το C-RAN προσπαθεί να μειώσει τον αριθμό των κυψελών κρατώντας στο ίδιο επίπεδο την κάλυψη που παρέχει στους πελάτες. Στόχος του C-RAN είναι να συγκεντρώσει πολλά baseband units από ένα πλήθος base stations σε ένα BBU pool όπου θα είναι όλα διαθέσιμα προς χρήση και να μπορούν να μοιράζονται μεταξύ διαφορετικών base stations. Με αυτόν τον τρόπο το δίκτυο θα μπορεί να είναι σε θέση να προσαρμόζεται σε μη αναμενόμενη κίνηση και να διαχειρίζεται τους πόρους του καλύτερα.

Το CRAN χρησιμοποιεί 3 τρόπους διαχείρισης:

1. Πλήρης κεντρική διαχείριση: Σε αυτό το σενάριο τα BBU είναι υπεύθυνα για το physical layer, το mac layer και το network layer. Εξαιτίας του πολύ μεγάλου bandwidth σε αυτό το σενάριο, υπάρχουν και υψηλές απαιτήσεις στη μετάδοση σημάτων μεταξύ RRH και BBU. Τα BBU περιέχουν όλες τις λειτουργίες των base stations.

2. Μερική κεντρική διαχείριση Τα RRH είναι υπεύθυνα για επεξεργασία ραδιοσυχνοτήτων (RF) καθώς και για την ενσωμάτωση λειτουργιών RF. Από την άλλη τα BBU είναι υπεύθυνα για όλες τις υπόλοιπες λειτουργίες που αφορούν τα άλλα layers.

3. Υβριδική κεντρική διαχείριση: Είναι μία ειδική περίπτωση της πλήρους κεντρικής διαχείρισης. Μερικές λειτουργίες του physical layer αφαιρούνται από τα BBU και μεταφέρονται σε ξεχωριστές μονάδες. Έτσι εξοικονομείται ενέργεια στα BBU.

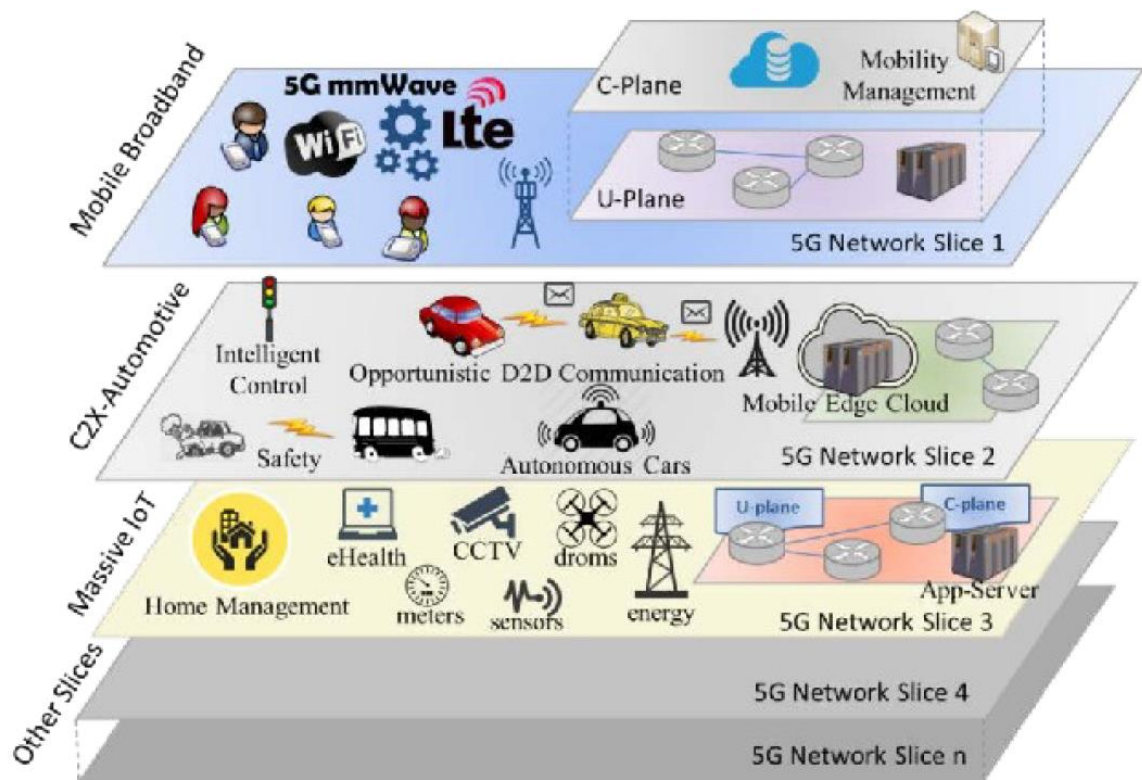
Τα κύρια οφέλη που επιφέρει η μετάβαση του RAN σε C-RAN είναι:

- **Μειωμένο κόστος:** Τα RRH κάνουν απλούστερες λειτουργίες χρησιμοποιώντας λιγότερους πόρους συνολικά και εξοικονομώντας μεγάλο κόστος. Επίσης μειώνει σημαντικά τις κεφαλαιουχικές δαπάνες δικτύου (CAPEX) και λειτουργικές δαπάνες (OPEX). Το πρώτο οφείλεται στην εξοικονόμηση πόρων που αναφέρθηκε προηγουμένως και το τελευταίο οφείλεται στο γεγονός ότι η αναβάθμιση και η συντήρηση είναι λιγότερο δαπανηρές όσο τα BBU. Βρίσκονται συγκεντρωμένα σε ένα μέρος.
- **Μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας:** Το C-RAN απελευθερώνει αρκετά BS από το να παρέχουν υπηρεσίες συνέχεια χωρίς να σταματάνε, μεταφέροντας τους υπολογιστικούς πόρους και τις δυνατότητες στο BS pool και έτσι κάποια base stations μπορούν να λειτουργούν με χαμηλότερη ισχύ ή να σταματήσουν τελείως την λειτουργία τους.

2.4 Network slicing

Το network slicing πρόκειται για μια τεχνολογία που επιτρέπει στους παρόχους δικτύου να χτίσουν πολλά εικονικά δίκτυα πάνω σε μια κοινή υποδομή έτσι ώστε να μπορούν να παρέχονται υπηρεσίες με ταχύτητα καθώς και ελαστικότητα όσον αφορά τις προδιαγραφές τους. Ένα τεμάχιο δικτύου (ή network slice) ορίζεται ως ο συνδυασμός κάποιων λειτουργιών και εφαρμογών του δικτύου καθώς και της cloud υποδομής (physical, virtual κτλ.) τα οποία συνδράμουν ώστε να δημιουργηθεί ένα δικτυακό προφίλ με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (bandwidth, latency, processing, security κτλ.) για την αποτελεσματικότερη εκτέλεση κάποιας απαιτούμενης λειτουργίας ή εφαρμογής.

Κάθε τμήμα του δικτύου ουσιαστικά θα λειτουργεί ως ανεξάρτητο δίκτυο το οποίο θα διαχειρίζεται είτε από τον πάροχο του δικτύου είτε ακόμη και από κάποιον πελάτη του παρόχου στον οποίο έχει μισθώσει μέρος της υποδομής. Το network slicing μπορεί να δώσει μια αποδοτική λύση όντας μια υπηρεσία “κομμένη και ραμμένη” στα μέτρα του κάθε χρήστη ικανοποιώντας όλες του τις ανάγκες στο κομμάτι της κινητής.



Εικόνα 7: Network slicing παράδειγμα

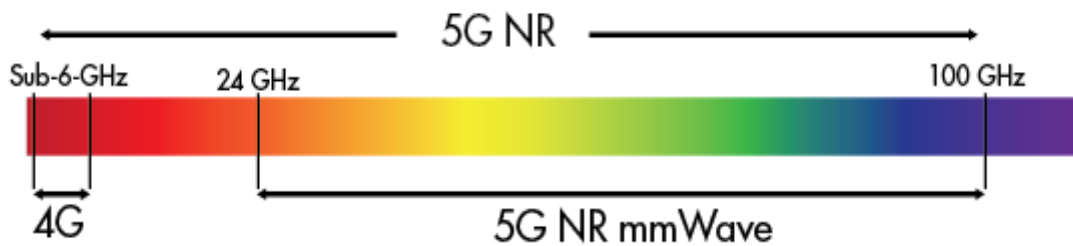
Μία τεχνολογία που αναμένεται να επωφεληθεί από την αρχιτεκτονική του network slicing είναι η D2D επικοινωνία, αφού θα μπορούν να δημιουργηθούν ομάδες χρηστών με απευθείας επικοινωνία αναλόγως σε ποιο slice βρίσκονται.

2.5 Τεχνολογίες δικτύων 5G

Περιγράφουμε εν συντομία τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα κυψελοειδή δίκτυα του 5G [23]:

Millimeter Wave (mmWave)

Γνωστό και ως νέα ραδιοσυχνότητα 5G (5G NR), είναι μια από τις πολλά υποσχόμενες αναδυόμενες βασικές τεχνολογίες για τα κυψελωτά δίκτυα 5G λόγω της ικανότητάς της να επιτυγχάνει τις τεράστιες αποδόσεις που απαιτούνται για την πέμπτη γενιά. Το mmWave είναι μια προηγμένη τεχνολογία για το physical layer η οποία έχει αναδειχθεί πρόσφατα στην πρώτη γραμμή της ερευνητικής προσοχής και μπορεί να είναι ικανό να ανταποκριθεί στην πρόκληση της επίτευξης mobile ευρυζωνικών υπηρεσιών υψηλής ταχύτητας, καθώς και να προσφέρει ευκαιρίες για μείωση του latency των ασύρματων συνδέσεων [15].



Εικόνα 8: 5G New Radio frequency (5G NR): The mmWave

Το MmWave χρησιμοποιεί το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ 30 και 300 GHz. Ωστόσο, τα ερευνητικά πειράματα παρατείνονται σε κατώτερες συχνότητες (πάνω από τα 6 GHz). Τα mmWave προσφέρουν μεγάλα εύρη ζώνης φάσματος και σε ορισμένα από αυτά μπορεί να ξεπεράσει το 1 GHz. Ο τεχνολογικός ενεργοποιητής των συσκευών mmWave είναι οι κατευθυντικές έξυπνες κεραιές, καθώς μπορούν να ξεπεράσουν τα κατώτερα φαινόμενα διάδοσης και να αποκαλύψουν αυτό το φάσμα υψηλής συχνότητας.

Ωστόσο, για να υλοποιηθεί αποτελεσματικά η τεχνολογία mmWave για δίκτυα 5G, υπάρχουν πολλές προκλήσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι πιο σημαντικές είναι:

- Προσαρμοστική διαμόρφωση δέσμης και παρακολούθηση δέσμης.
- Κατευθυντικός συγχρονισμός και κανάλια εκπομπής.

Country	mmWave radio frequency
USA	27.5 - 28.35 GHz and 37-40 GHz
Korea	26.5 - 29.5 GHz
Japan	27.5 - 28.28 GHz

China	24.25 – 27.5 GHz and 37 – 43.5 GHz
Sweden	26.5 – 27.5 GHz
EU	24.25 – 27.5 GHz

Πίνακας 3: mmWave ραδιοσυχνότητες του 5G που χρησιμοποιούνται ανά χώρα

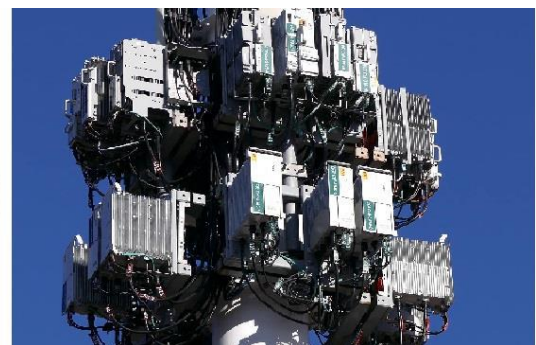
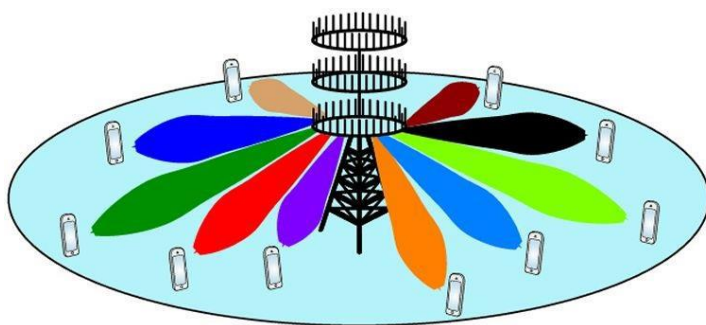
Massive Multiple Input Multiple Output (Massive MIMO or mMIMO)

Το Massive MIMO θεωρείται από πολλούς ως ένας από τους βασικούς κινητήριους μοχλούς των τεχνολογιών 5G και παίζει μεγάλο ρόλο στην επίτευξη των στόχων του. Το Massive MIMO πρωτοπαρουσιάστηκε σαν «Συστήματα κεραιών μεγάλης κλίμακας» ή “Full-Dimension MIMO”,

ή «Πολύ μεγάλο MIMO», κάνοντας τη διαφορά με τη χρήση ενός τεράστιου αριθμού κεραιών στο σταθμό βάσης (BS) [16].

Αρχικά, το όνομα massive MIMO ήταν προήλθε από τον αριθμό των κεραιών που τείνουν στο άπειρο. Ωστόσο, όπως φαίνεται στην εικόνα 9, το mMIMO είναι ένας μεγάλος αριθμός κεραιών στο Σ.Β. με διαμόρφωση ανώτερη του LTE (που είναι 8x8). Στην ουσία, δεν υπάρχει τεράστια διαφορά μεταξύ του Massive MIMO και του συμβατικού MIMO. Σε σύγκριση με το παραδοσιακό MIMO, οι πρόσθετες κεραίες που παρουσιάζει το Massive MIMO βοηθούν στην εστίαση της ενέργειας σε μικρότερες περιοχές, επιτυγχάνοντας στάδια χαμηλών παρεμβολών έτσι ώστε όλα τα τερματικά χρήστη (UT) να επωφελούνται από μεγάλη ενίσχυση στο throughput.

Άλλο ένα πλεονέκτημα του Massive MIMO είναι η επέκταση κάλυψης της κυψέλης. Επιπλέον, το Massive MIMO γίνεται πιο ελκυστικό με τις μπάντες mmWave. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις είναι η λήψη πληροφοριών κατάστασης καναλιού (Channel State Information ή CSI) στο Σ.Β. σχετικά με τα κανάλια μεταξύ των Massive MIMO στους σταθμούς βάσης και των τερματικών χρήστη που εξυπηρετεί [17].



Εικόνα 9: Massive MIMO στα δίκτυα 5G

Εκτός από τις σημαντικές βελτιώσεις απόδοσης του Massive MIMO, ορισμένες ιδιότητες είναι αποκλειστικές στο Massive MIMO. Αυτές οι ιδιότητες είναι οι ακόλουθες:

- Μεγάλες φασματικές αποδόσεις.
- Σχεδόν βέλτιστη απόδοση με απλούς πομποδέκτες.
- Πολύ πιο πράσινη τεχνολογία.
- Τρομερά βελτιωμένη απόδοση του χρήστη στην άκρη της κυψέλης.
- Ευέλικτη εκφόρτωση δικτύου και load balancing.

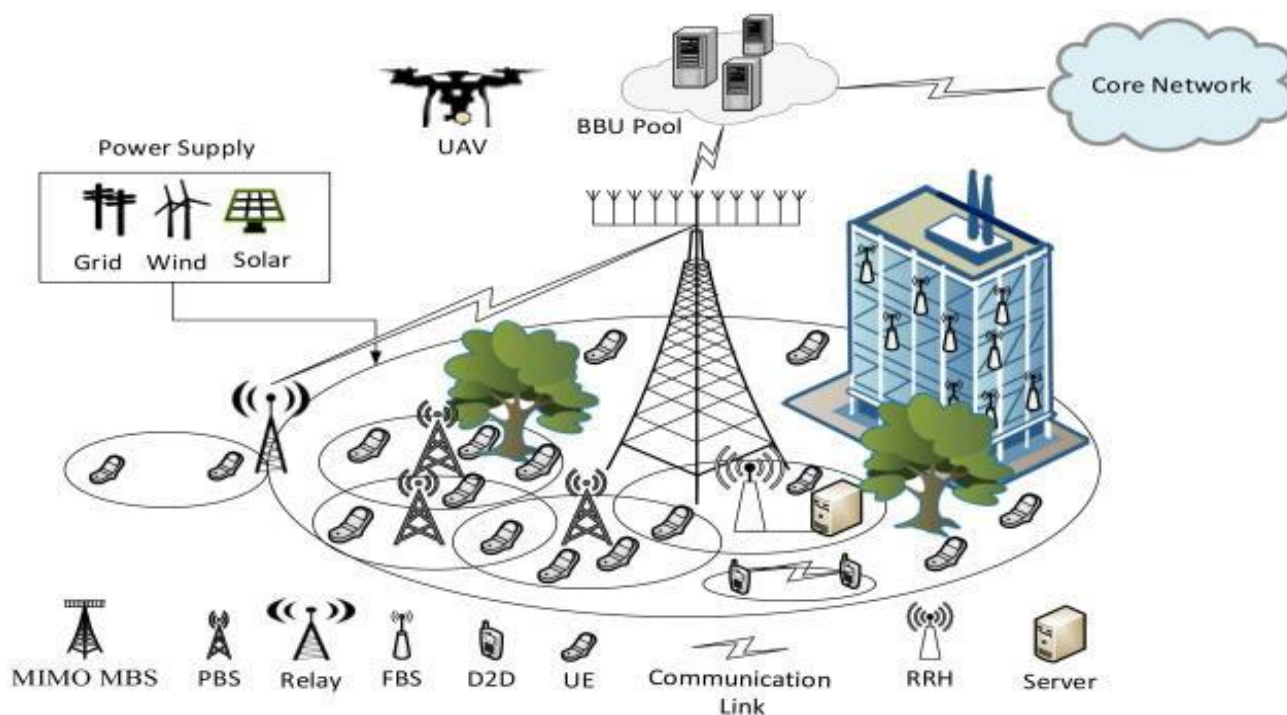
Ultra Dense Network (UDN)

Το UDN είναι ένα δίκτυο που διαθέτει πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα ασύρματων πόρων σε σύγκριση με παλαιότερα δίκτυα. Αυτό σημαίνει ότι η macro cell του 4G θα διαιρεθεί σε

μεγάλο αριθμό μικρών κυψελών η καθεμία με το δικό της σταθμό βάσης, όπως φαίνεται στην εικόνα 10. Τα κίνητρα πίσω από την επιλογή των εξαιρετικά πυκνών δικτύων είναι ότι η τεχνολογία mmWave δεν μπορεί να εκπέμπει με κάλυψη πάνω από 100 μέτρα λόγω της υποβάθμισης της απόστασης διάδοσης στο mmWave. Επιπλέον, οι Σ.Β. που είναι εξοπλισμένοι με κεραιές mMIMO απαιτούν τεράστια μάζα ενέργειας για να εξυπηρετούν όλους τους χρήστες εντός της κυψέλης macro. Βάσει των προηγούμενων αιτίων, τα δίκτυα μικρών κυψελών είναι η λύση για τα κυψελωτά δίκτυα 5G.

Επειδή τα δίκτυα γίνονται πιο πυκνά, μπορεί να δημιουργηθεί ένας μεγάλος αριθμός ισχυρών παρεμβολών αντί για μία κυρίαρχη παρεμβολή. Έτσι, η διαχείριση της παρεμβολής με λιγότερη διαμοιραζόμενη πληροφορία μεταξύ των Σ.Β. είναι μια σημαντική πρόκληση και μπορεί να απαιτηθούν νέοι μέθοδοι επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων. Επιπροσθέτως, λόγω του μεγάλου αριθμού Σ.Β., η ενεργειακή απόδοση είναι πολύ σημαντική στα UDN. Στα συμβατικά κυψελωτά δίκτυα όλοι οι Σ.Β. είναι πάντα ενεργοί. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, σε τέτοια δίκτυα, οι Σ.Β. έχουν εγκατασταθεί αραιά, ενώ η πυκνότητα των χρηστών είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν των σταθμών βάσης.

Η πυκνότητα των σταθμών βάσης 5G αναμένεται να ανέλθει σε 40 ή 50 BS/Km². Κατά συνέπεια, η επόμενη γενιά κυψελοειδών δικτύων (5G) είναι ένα εξαιρετικά πυκνό κυψελοειδές δίκτυο.



Εικόνα 10: Ένα UDN στα δίκτυα 5G.

Κυματομορφή και πολλαπλή πρόσβαση

Ιστορικά, η πολλαπλή πρόσβαση (multiple access) έχει υποστεί ριζικές αλλαγές για κάθε γενιά ασύρματων δικτύων από την πρώτη γενιά (1G) έως την τέταρτη γενιά (4G). Συγκεκριμένα, η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (FDMA), πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA), πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (CDMA) και πολλαπλή πρόσβαση με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας (OFDMA) χρησιμοποιούνται από το 1G έως το 4G. Σε αυτό το σύστημα πολλαπλής πρόσβασης οι ορθογώνιοι πόροι κατανέμονται σε διαφορετικούς χρήστες είτε στον τομέα του χρόνου είτε στον τομέα της συχνότητας προκειμένου να αποφευχθεί η παρεμβολή μεταξύ των χρηστών. Ωστόσο, σε σύγκριση με τις υπάρχουσες τεχνικές ορθογώνιας πολλαπλής πρόσβασης (OMA), που επιτρέπουν σε πολλαπλούς χρήστες να χρησιμοποιούν τον ίδιο χρόνο και συχνότητα, οι τεχνικές μη ορθογώνιας πολλαπλής πρόσβασης (NOMA) μπορούν να αυξήσουν σε μεγάλο βαθμό τον αριθμό των εξυπηρετούμενων χρηστών, να βελτιώσει τη φασματική απόδοση και την user-fairness, και να μειώσει το latency σε σύγκριση με τις υπάρχουσες τεχνικές ορθογώνιας πολλαπλής πρόσβασης (OMA). Εκτός από την έρευνα για τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης έχει γίνει σημαντική έρευνα για τη βελτίωση της κυματομορφής OFDM των συστημάτων 4G.

Ενώ το OFDM έχει αναπτυχθεί ευρέως σε συστήματα 4G, η τρέχουσα κυματομορφή OFDM έχει κάποιες αδυναμίες, όπως υψηλή διαρροή εκτός ζώνης φάσματος, και απαίτηση αργού και αυστηρού συγχρονισμού των κόμβων για να αποφευχθούν παρεμβολές μεταξύ των carriers.

Ομολογουμένως, τα σενάρια εφαρμογής του 5G είναι πολύ πιο περίπλοκα από εκείνα του 4G και η καθυστέρηση όπως και οι άλλες απαιτήσεις πρόσβασης είναι πολύ αυστηρές. Στοχεύοντας στον μετριασμό αυτού του μειονεκτήματος του OFDM, κάποιες εναλλακτικές κυματομορφές, όπως η Filter Bank Based Multi-Carrier (FBMC), Filtered OFDM (F-OFDM) και Universal Filtered Multi-Carrier (UFMC)[48] έχουν προταθεί. Οι συγκεκριμένες νέες τεχνολογίες κυματομορφής σε συνδυασμό με νέες μεθόδους μη ορθογώνιας πρόσβασης μπορούν αυξήσουν την ευελιξία και την αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού του air interface του 5G σε μεγάλο βαθμό.

Caching

Λέγοντας caching στην άκρη του δικτύου εννοούμε την ανάκτηση αποθηκευμένου περιεχομένου από σημεία δίπλα στους τελικούς χρήστες ή κοντά σε αυτούς. π.χ. από σταθμούς βάσης μικρών κυψελών ή από σημεία ασύρματης πρόσβασης. Η προσωρινή αποθήκευση έχει αναδειχθεί ως βιώσιμη λύση για την ενίσχυση της αποδοτικότητας ασύρματων δικτύων. Πολλές από τις υπάρχουσες τεχνολογίες επικοινωνίας αποτυγχάνουν να επεκταθούν και να συμβαδίζουν με τα μεγέθη του δικτύου, το caching όμως είναι μία επεκτάσιμη τεχνολογία από τη φύση του.

Η προσωρινή αποθήκευση λειτουργεί σε δύο φάσεις:

- Φάση προανάκτησης ή αποθήκευσης στην οποία ένα συγκεκριμένο τμήμα δεδομένων (δημοφιλές περιεχόμενο, στην απλούστερη περίπτωση) αποθηκεύεται σε κρυφές μνήμες στην άκρη του δικτύου σε περιόδους εκτός αιχμής.

- Φάση παράδοσης κατά την οποία το ζητούμενο περιεχόμενο διανέμεται στους χρήστες σε περιόδους αιχμής του δικτύου λαμβάνοντας υπόψη το presorted περιεχόμενο.

Μέσω της αποθήκευσης μέρους του περιεχομένου στην άκρη του δικτύου, τα δίκτυα που υποστηρίζονται από την κρυφή μνήμη μπορούν να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα του bandwidth και να μειώσουν το latency. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο στην αποσυμφόρηση δικτύου, ιδιαίτερα για viral βίντεο που μπορεί να διαδοθούν εκατομμύρια φορές σε ένα δίκτυο. Η προσωρινή αποθήκευση διευκολύνεται επειδή η χωρητικότητα αποθήκευσης γίνεται εξαιρετικά φθηνή τα τελευταία χρόνια. Τα καλά σχεδιασμένα scripts προσωρινής αποθήκευσης επιτρέπουν τη βελτίωση της απόδοσης διαφόρων σεναρίων δικτύου όπως κανάλια broadcast και παρεμβολών, ρυθμίσεις cloud RAN και ρυθμίσεις D2D.

Full Duplex

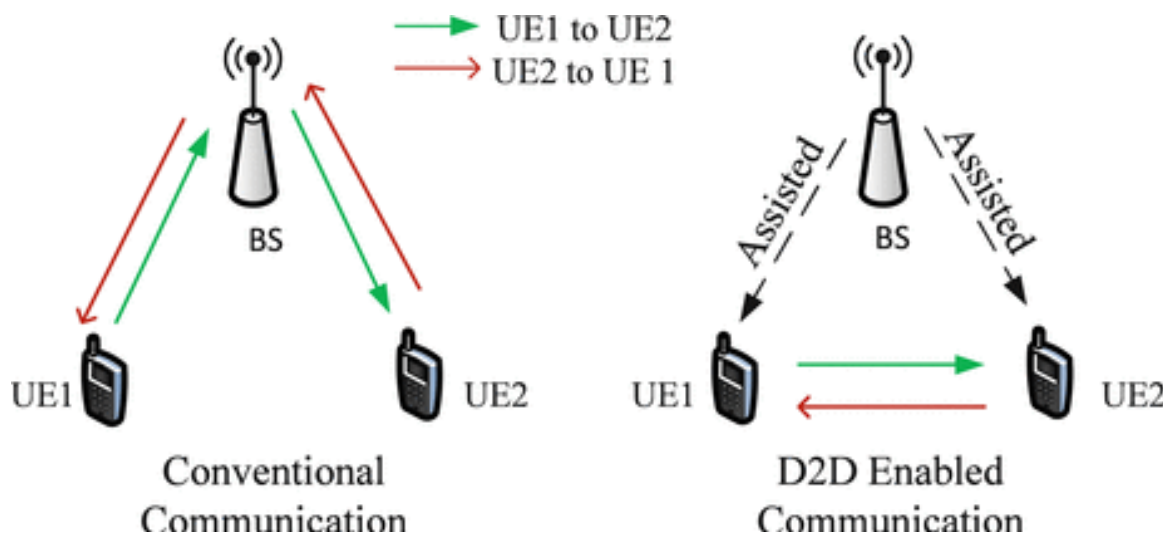
Μία από τις ευνοϊκές τεχνικές στο 5G περιβάλλον είναι το full-duplex. Το Full duplex μπορεί να διπλασιάσει την φασματική απόδοση με ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη στην ίδια συχνότητα και στον ίδιο χρόνο. Μπορεί επίσης να μειώσει την καθυστέρηση πακέτων E2E και να βελτιώσει την αποδοτικότητα του δικτύου.

Software Defined Networks (SDN)

Το SDN και το Virtualization είναι καινοτόμα χαρακτηριστικά του 5G, και μπορούν να επιτρέψουν μία ευέλικτη και αυτοματοποιημένη υλοποίηση του δικτύου. Για να αποκτήσουμε μεγαλύτερη ταχύτητα και μαζική συνδεσιμότητα, είναι σημαντικό οι αποφάσεις που λαμβάνονται στην core μεριά του δικτύου να είναι γρηγορότερες, δομημένες και ελεγχόμενες όσον αφορά τη συμφόρηση. Επιπλέον, η ιδέα SDN επιτρέπει να προσαρμόσουμε τη λειτουργία του δικτύου back-haul στις ανάγκες πρόσβασης του δικτύου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας software defined controllers που εμφανίζονται να έχει μια σφαιρική οπτική του δικτύου. Το SDN παρέχει καλύτερη inter-cell διαχείριση, επιβολή Quality of Service (QoS), πολιτικές τείχους προστασίας και απρόσκοπτη μεταπήδηση χρηστών από τεχνολογία σε τεχνολογία.

D2D επικοινωνία στο 5G

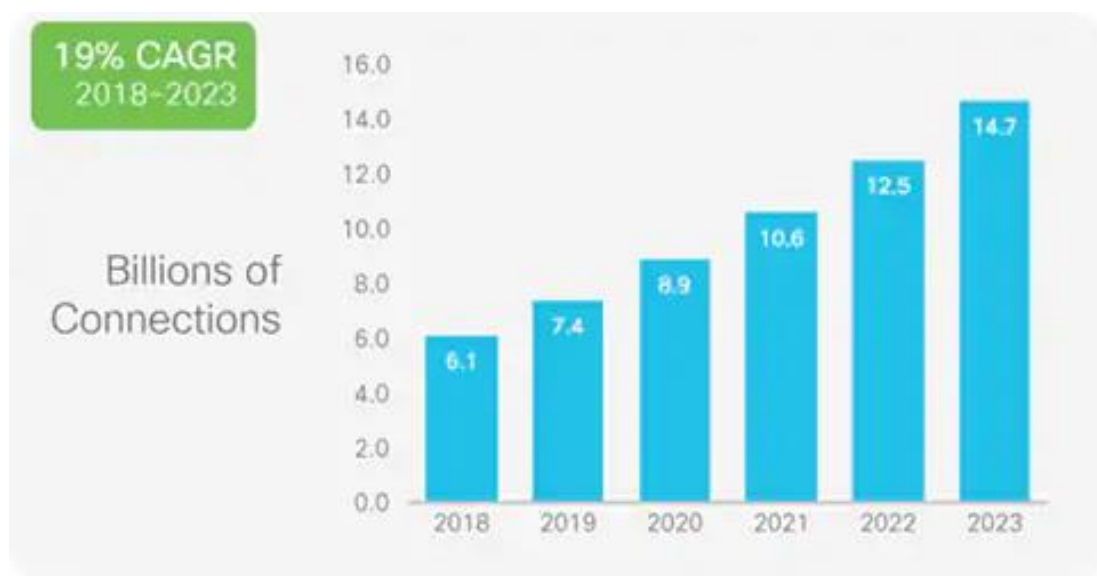
Η επικοινωνία Device-to-Device (D2D) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για τη βελτίωση της φασματικής απόδοσης σε κυψελωτά δίκτυα 5G. Το D2D επωφελείται από τη μικρή απόσταση των συνδεόμενων συσκευών για τη βελτίωση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, την αποτελεσματική εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων, την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου και τη μείωση του latency. Η ερευνητική κοινότητα μελετά μόνιμα την D2D τεχνολογία για να επιτύχει την ενσωμάτωσή του σε μελλοντικά κυψελωτά δίκτυα και να αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητές του. Η επικοινωνία D2D είναι μια άμεση επικοινωνία μεταξύ συσκευών ή UE (εξοπλισμός χρήστη) χωρίς συμμετοχή ή με περιορισμένη παρέμβαση του σταθμού βάσης. Η εικόνα 11 απεικονίζει την επικοινωνία D2D στα κυψελωτά δίκτυα.



Εικόνα 11: Τα δύο κύρια use cases της D2D επικοινωνίας στο 5G

2.6 Επισκόπηση του IoT

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) υπόσχεται να βελτιώσει τη ζωή μας εισάγοντας καινοτόμες υπηρεσίες που έχουν σχεδιαστεί για ένα ευρύ φάσμα τομέων εφαρμογών: από τον βιομηχανικό αυτοματισμό έως τις οικιακές συσκευές, από την υγειονομική περίθαλψη έως τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης και πολλά άλλα, αντιμετωπίζοντας πολλές προκλήσεις σε καθημερινή βάση όσον αφορά την απρόσκοπτη εξυπηρέτηση του κόσμου. Αυτή τη στιγμή έχουμε συνδεδεμένες περίπου 12,5 δισεκατομμύρια συσκευές IoT και 24 δισεκατομμύρια έως 50 δισεκατομμύρια συνολικές συνδέσεις αναμένονται μέσα στα επόμενα πέντε χρόνια.



Εικόνα 12: IoT συνδέσεις ανά τα χρόνια[2]

Το όραμα ενός «έξυπνου κόσμου» όπου τα καθημερινά μας έπιπλα, ηλεκτρικές συσκευές και τα έγγραφα, έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο δεν είναι πλέον σενάριο επιστημονικής φαντασίας. Τα περισσότερα από αυτά λειτουργούν μέσω των εικονικών τους αναπαραστάσεων μέσα σε ένα υποκινούμενο ψηφιακό σύστημα πληροφοριών που είναι χτισμένο πάνω στον φυσικό κόσμο. Η πλειονότητα των τρεχουσών λύσεων IoT, πράγματι, απαιτεί υπηρεσίες Cloud, αξιοποιώντας τις ουσιαστικά απεριόριστες δυνατότητές τους για να εκμεταλλευτούν αποτελεσματικά τις δυνατότητες τεράστιων μικροσκοπικών αισθητήρων και ελεγκτών προχωρώντας προς το λεγόμενο Cloud of Things. Παρά όλες τις συνθήκες που φαίνονται να είναι πολύ ευνοϊκές, μένουν ακόμη πολλά να γίνουν πριν φτάσουμε σε ένα καλά λειτουργικό, αξιόπιστο και αποτελεσματικό οικοσύστημα IoT.

Η υψηλή ετερογένεια των συσκευών, των τεχνολογιών και των τρόπων αλληλεπίδρασης (από μηχανή με μηχανή, από μηχανή σε άνθρωπο και από μηχανή σε σύννεφο) θέτει σοβαρές προκλήσεις σχετικά με τη διαδικασία επικοινωνίας. Από αυτή την άποψη, μια μεγάλη ποικιλία ασύρματων τεχνολογιών μικρής εμβέλειας χαμηλής κατανάλωσης, όπως IEEE 802.15.4, Bluetooth Low Energy, IEEE 802.11ah, NB-IoT, 6LoWPAN, έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν αποτελεσματική συνδεσιμότητα μεταξύ των συσκευών IoT και του Διαδικτύου.

Πρόσφατα, επίσης τα κυψελωτά δίκτυα μεγάλης εμβέλειας θεωρούνται υποσχόμενοι υποψήφιοι για να εγγυηθούν την επιθυμητή διαδικτυακή λειτουργία των συσκευών IoT, χάρη στα προσφερόμενα πλεονεκτήματα όσον αφορά τη βελτιωμένη κάλυψη, τον υψηλό ρυθμό δεδομένων, τη χαμηλή καθυστέρηση, το χαμηλό κόστος ανά bit, και την υψηλή φασματική απόδοση. Σε αυτό το πλαίσιο, το Third Generation Partnership Project (3GPP) εισήγαγε νέες δυνατότητες για την υποστήριξη επικοινωνιών τύπου μηχανής(MTC) λαμβάνοντας υπόψη τις εγγενείς δυνατότητες της μπαταρίας των συσκευών IoT και τα σχετικά μοτίβα κίνησης (π.χ. μικρά πακέτα δεδομένων). Ταυτόχρονα, οι προσπάθειες ακαδημαϊκών, βιομηχανικών φορέων και φορέων standardization πιέζουν προς την εκπλήρωση των απαιτήσεων του IoT μέσω των ασύρματων συστημάτων πέμπτης γενιάς (5G). Το 5G δεν είναι μόνο μια καθαρή εξέλιξη των παλαιότερων κυψελωτών δικτύων, αλλά, είναι μια επανάσταση στον τομέα της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών με καινοτόμα χαρακτηριστικά δικτύου.

2.7 Απαιτήσεις IoT προς υποστήριξη από τα συστήματα 5G

Ενεργειακή απόδοση

Η διαχείριση της ενέργειας κατά τις φάσεις συλλογής, διατήρησης και κατανάλωσης είναι ένα από τα κύρια ζητήματα που χαρακτηρίζουν τα οικοσυστήματα IoT. Η επίτευξη υψηλής ενεργειακής απόδοσης στις επικοινωνίες είναι ζωτικής σημασίας για τις συσκευές IoT, οι οποίες συνήθως βασίζονται είτε σε μικρές μπαταρίες είτε σε τεχνολογίες συλλογής (π.χ. ηλιακή ενέργεια).

Ανθεκτικότητα

Η εγγενής δυναμική φύση των ασύρματων οικοσυστημάτων IoT απαιτεί εγγυήσεις για τη λειτουργική συνέχεια του συστήματος ακόμη και σε δύσκολες συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της έλλειψης συνδεσιμότητας υποδομής δικτύου. Εκτός από τις προσπάθειες που έγιναν για την παροχή σπονδυλωτής κάλυψης δικτύου, μια απροσδόκητη έλλειψη υποστήριξης υποδομής είναι πολύ πιθανή σε περίπτωση συμφόρησης λόγω κάποιου event που υπάρχει συνωστισμός, αστοχιών κόμβου δικτύου, κακών συνθηκών ασύρματης σύνδεσης και καταστροφικών συμβάντων.

Interoperability

Τα IoT απαρτίζονται από αρκετά ετερογενή αντικείμενα, καθένα από τα οποία παρέχει συγκεκριμένες λειτουργίες που είναι προσβάσιμες μέσω της δικής τους διαλέκτους. Επομένως, μία από τις βασικές απαιτήσεις είναι η διαχείριση αυτής της εγγενούς ετερογένειας, δηλαδή η παροχή αποτελεσματικών λύσεων για την απρόσκοπτη ενοποίηση διαφορετικών τύπων συσκευών, τεχνολογιών και υπηρεσιών.

Ομαδική επικοινωνία

Στα περιβάλλοντα του IoT, τα δεδομένα που παρέχονται από ένα μεμονωμένο αντικείμενο ενδέχεται να μην είναι αρκετά αξιόπιστα ή χρήσιμα για να υποστηρίξουν συγκεκριμένες εφαρμογές και την επιθυμητή ποιότητα πληροφοριών (Quality of Information). Ταυτόχρονα, τα αυτοματοποιημένα συστήματα IoT μπορεί να έχουν πλεονεκτήματα στην ενεργοποίηση ταυτόχρονων ενεργειών σε πολλές συσκευές (όπως, για παράδειγμα, λαμπτήρες δρόμου) σε μια έξυπνη πόλη.

2.8 Σχέδια του 5G για την ενσωμάτωση των IoT

Μερικά από τα χαρακτηριστικά 5G που προσελκύουν τη βιομηχανία IoT είναι:

- **εγγενής υποστήριξη των MTC** (Machine Type Communications), σύμφωνα με την οποία ορίζονται ad-hoc διαδικασίες μετάδοσης για τον αποτελεσματικό χειρισμό της κυψελοειδούς μετάδοσης μικρών πακέτων μειώνοντας την καθυστέρηση και την κατανάλωση ενέργειας.
- **αναπτύξεις μικρών κυψελών**, προβλέποντας μαζική ανάπτυξη κυψελών femto, pico και αναμεταδοτών για την επέκταση της κάλυψης και της χωρητικότητας και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.
- **διαλειτουργικότητα**, δηλαδή απρόσκοπτη ενοποίηση μεταξύ τεχνολογιών πρόσβασης 3GPP και μη 3GPP για ενίσχυση της αξιοπιστίας και της κάλυψης.
- **βελτιστοποιημένα τμήματα access/core**, που επιτυγχάνονται μέσω νέων μεθόδων, όπως η δημιουργία λογισμικού και το virtualization οντοτήτων και λειτουργιών δικτύου, αντίστοιχα. Προς αυτή την κατεύθυνση κινούνται οι πρωτοβουλίες του GSM

Association βαδίζοντας προς λύσεις ενσωματωμένης sim (e-sim)[54], για να ξεπεραστεί η κλασική έννοια της φυσικής cellular κάρτας sim, η οποία θα μπορούσε να αποτελέσει σοβαρό περιορισμό για μικροσκοπικές συσκευές IoT μεγάλης κλίμακας (π.χ. αισθητήρες). Οι e-sims θα επιτρέψουν την παροχή «over the air» συνδεσιμότητας δικτύου και τη δυνατότητα συνδρομής σε πολλαπλούς παρόχους.

Στο εξελίξιμο σενάριο που απεικονίζεται μέχρι στιγμής, Device-to-Device (D2D) επικοινωνία θα διαδραματίσει αναμφισβήτητο βασικό ρόλο στην ενσωμάτωση IoT/5G. Αυτή η προσέγγιση έχει αποκτήσει πρόσφατα δυναμική ως μέσο για την επέκταση της κάλυψης και την υπέρβαση των περιορισμών των συμβατικών κυψελωτών συστημάτων. Περιττό να πούμε ότι αυτά τα ίδια χαρακτηριστικά κάνουν το D2D μια πολύ ελκυστική λύση για να ικανοποιήσει τις αυστηρές απαιτήσεις που επιβάλλονται από το IoT στα αναδυόμενα σενάρια δικτύου 5G.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: DEVICE-TO-DEVICE (D2D)

3.1 Μία επισκόπηση στην D2D επικοινωνία

Στη συμβατική λειτουργία μίας cellular μετάδοσης, ο εξοπλισμός χρήστη (UE) μεταδίδει πρώτα τα δεδομένα του στο σταθμό βάσης (Σ.Β.) χρησιμοποιώντας πόρους uplink. Τότε ο Σ.Β. προωθεί τα δεδομένα στο στον αντίστοιχο δέκτη χρησιμοποιώντας πόρους downlink. Ωστόσο, εάν ο αποστολέας UE και ο παραλήπτης UE βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, ο ΣΒ δεν μπορεί να επιτρέψει στους χρήστες να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους.

Μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την φασματική απόδοση στα cellular δίκτυα είναι η επικοινωνία Device-to-Device (D2D). Η τεχνολογία D2D επιτρέπει την απευθείας επικοινωνία μεταξύ κοντινών mobile συσκευών χωρίς τη συμμετοχή ΣΒ. Λόγω της ανάγκης για υψηλό ρυθμό δεδομένων, χαμηλό latency και Quality of Service (QoS) για συγκεκριμένες επικοινωνίες, το D2D θεωρείται στην πραγματικότητα ως ένα από τα βασικά στοιχεία που θα απογειώσουν τα 5G δίκτυα. Η επικοινωνία D2D υπάρχει από πάντα στο unlicensed φάσμα, ωστόσο, για τρεις cellular γενιές (1G, 2G και 3G), δεν μελετήθηκε ποτέ στο licensed φάσμα. Το D2D παρουσιάστηκε στο 4G, μετά την έκδοση LTE 12 (το 2012) από το Third Generation Partnership Project (3GPP) [18].

3.2 Βασικές πληροφορίες για την D2D επικοινωνία

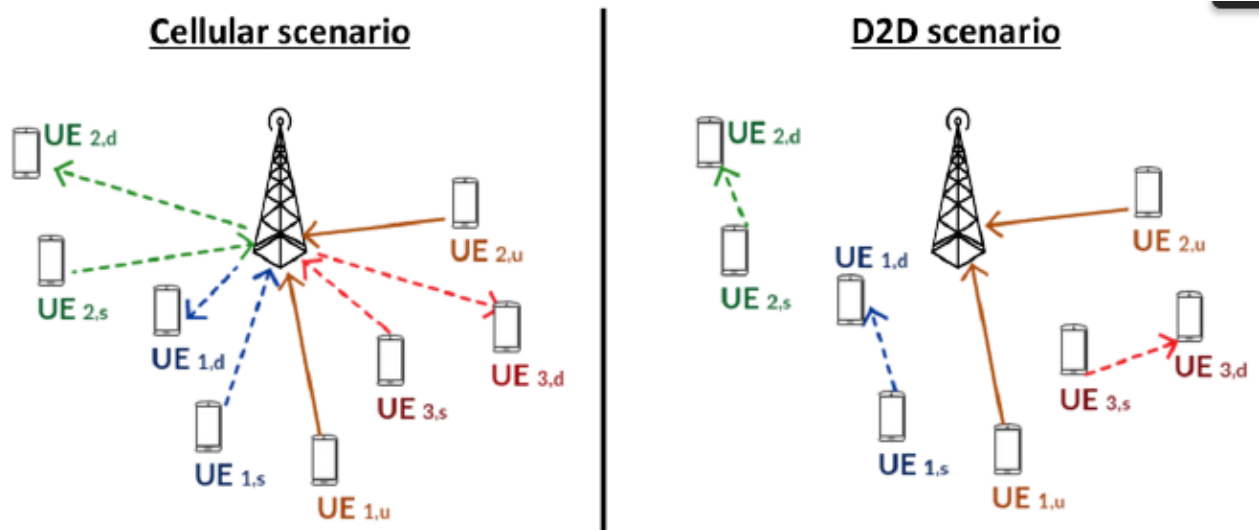
Η προοπτική του D2D να ενισχύσει τις μελλοντικές γενιές κυψελοειδών δικτύων οδήγησε στην συσχέτιση του D2D με πολυάριθμους τομείς όπως τα δίκτυα οχημάτων, τις υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας, το multi hop relaying, την εκφόρτωση της κινητής και γενικά τις υπηρεσίες που βασίζονται σε μικρή απόσταση. Η επικοινωνία D2D υποστηρίζει τοπικές υπηρεσίες δεδομένων σε όλους τους μηχανισμούς μετάδοσης (unicast, multicast και broadcast). Το Facebook, το Google Maps, το Tinder και γενικά τα social media είναι κατάλληλοι υποψήφιοι για εφαρμογές επικοινωνίας D2D. Οι υπηρεσίες streaming παρόμοιες με το IPTV και το Google Chromecast μπορούν να βοηθηθούν από την D2D δημιουργώντας clusters. Η εκφόρτωση δεδομένων (offloading) είναι μια αξιοσημείωτη περίπτωση χρήσης, όπου μια συσκευή μπορεί να μετατραπεί σε hotspot. Ο Σ.Β. μπορεί να εκφορτώνει δεδομένα σε αυτήν τη συσκευή κατά τις ώρες αιχμής και άλλοι χρήστες μπορούν να λάβουν απευθείας δεδομένα από αυτήν τη συσκευή.

Η ταξινόμηση της επικοινωνίας D2D μπορεί να βασιστεί στη συμμετοχή της cellular υποδομής στη ρύθμιση της άμεσης ζεύξης και στο φάσμα το οποίο χρησιμοποιεί η άμεση επικοινωνία.

Στην **self-organized** επικοινωνία D2D ο συντονισμός μεταξύ των radio interfaces ελέγχεται από τους ίδιους τους χρήστες. Αυτή η προσέγγιση είναι παρόμοια με αυτήν των παραδοσιακών ad-hoc δικτύων και λειτουργεί στο unlicensed φάσμα. Συνήθως επιλέγεται λόγω του περιορισμένου overhead και της εύκολης υλοποίησής του, και άλλες φορές εφαρμόζεται όταν η cellular υποδομή δεν λειτουργεί (π.χ. σε περίπτωση φυσικής καταστροφής).

Από την άλλη πλευρά, στην **network-assisted** επικοινωνία D2D, ο σταθμός βάσης βοηθά την άμεση μετάδοση δεδομένων μέσω σηματοδότησης ελέγχου και διαχείρισης πόρων. Σε αυτήν την περίπτωση, το δίκτυο μπορεί να συντονίσει όλες τις επικοινωνίες με τη σειρά, για τον μετριασμό των πιθανών αμοιβαίων παρεμβολών. Ένα μειονέκτημα αυτού του συντονισμού είναι ότι μπορεί να απαιτεί υψηλό overhead σηματοδότησης και πολύπλοκη κεντρική διαχείριση πόρων.

Μπορούμε επίσης να θεωρήσουμε την ύπαρξη διαφορετικών επιπέδων υποστήριξης δικτύου, με στόχο την επίτευξη μίας καλής αντιστάθμισης μεταξύ του overhead πολυπλοκότητας/σηματοδότησης και της εγγυημένης απόδοσης της επικοινωνίας. Για παράδειγμα, οι χρήστες D2D μπορούν να υποστηρίζονται από το δίκτυο μόνο κατά τη διάρκεια της φάσης discovery, και στη συνέχεια να προγραμματίζουν αυτόνομα τις εκπομπές τους και να επιλέγουν τους πόρους του δικτύου[42].



Εικόνα 13: Ένα μοντέλο D2D

3.3 Μερικά πλεονεκτήματα της D2D επικοινωνίας

Η τεχνολογία D2D στα δίκτυα της κινητής αποφέρει πολλά οφέλη στους mobile χρήστες.

- **Εξοικονόμηση** ορισμένων πόρων, όπως της ισχύος μετάδοσης στο ΣΒ ή σε mobile συσκευές, λόγω της άμεσης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας.
- Εάν επιτραπεί η **κοινή χρήση του φάσματος** μεταξύ χρηστών cellular και χρηστών D2D, μπορεί να βελτιωθεί η χρήση του φάσματος, με αποτέλεσμα ακόμη μεγαλύτερο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών ακόμη και σε ένα δίκτυο υψηλής χρήσης. Ταυτόχρονα, οι ρυθμοί δεδομένων χρήστη και η χωρητικότητα ανά μονάδα επιφάνειας θα αυξηθεί και το latency θα μειωθεί.
- Επίσης θα έχουμε **μειωμένη κατανάλωση ενέργειας** λόγω της άμεσης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας και λόγω των δυνητικά ευνοϊκών συνθηκών διάδοσης των D2D πακέτων.
- Η D2D επικοινωνία επιτρέποντας την τοπική διαχείριση συνδέσεων μικρής εμβέλειας, θα μπορεί να **μειώσει τον φόρτο του backhaul και του core δικτύου**.
- Θα μπορούσε να είναι ένα καλό εργαλείο για τη δημιουργία **προσωρινής αποθήκευσης(caching)** ή για **τοπικές ζώνες κοινής χρήσης δεδομένων**, τα οποία πάλι θα οδηγούσαν σε αυξημένο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών στο δίκτυο με υψηλότερη απόδοση κόστους.
- Η **εμβέλεια της cellular κάλυψης μπορεί να επεκταθεί** και η χωρητικότητα ανά περιοχή να βελτιωθεί χωρίς κανένα επιπλέον κόστος υποδομής. Στην πραγματικότητα οι χρήστες στα άκρα των κυψελών, που συνήθως αντιμετωπίζουν κακή απόδοση σε

μεταδόσεις uplink και downlink, μπορούν να επικοινωνούν απευθείας με κοντινά τερματικά ή με το σταθμό βάσης μέσω άλλων χρηστών που λειτουργούν ως αναμεταδότες. Σε αυτή την περίπτωση, θα πραγματοποιηθούν δύο συνδέσεις, μια σύνδεση D2D μεταξύ του χρήστη στο άκρο κυψέλης και του χρήστη αναμετάδοσης, αλλά και μια παραδοσιακή σύνδεση μεταξύ του αναμεταδότη και της cellular υποδομής.

- επιτρέποντας την **επαναχρησιμοποίηση του φάσματος** μεταξύ των παραδοσιακών κυψελοειδών επικοινωνιών και των απευθείας D2D επικοινωνιών, η αποτελεσματικότητα του φάσματος μπορεί να βελτιωθεί, επιτρέποντας μεγαλύτερο αριθμό ταυτόχρονων μεταδόσεων[3].
- Προβλέπεται η επίτευξη σημαντικής βελτίωσης στη φασματική απόδοση, με την ενσωμάτωση των **in-band αμφίδρομων(full-duplex) λειτουργιών** στην D2D επικοινωνία. Οι επικοινωνίες full-duplex επιτρέπουν ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη στον ίδιο πόρο ώρας/συχνότητας, με το trade-off της αυτο-παρεμβολής στον πομπό.
- Δεδομένης της μικρής απόστασης μεταξύ των D2D χρηστών, **η απαιτούμενη ισχύς μετάδοσης είναι γενικά χαμηλή**, γεγονός που μειώνει τις αυτό-παρεμβολές.
- Επειδή η επικοινωνία D2D προσφέρει την ευκαιρία για τοπική διαχείριση μεταδόσεων σε κοντινές αποστάσεις, που επιτρέπει την **εκφόρτωση(offloading)** δεδομένων από το σταθμό βάσης, μειώνοντας τη συμφόρηση του δικτύου και τον κόπο της διαχείρισης της κίνησης στους κεντρικούς κόμβους.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα αυτά τα πολλά υποσχόμενα πλεονεκτήματα, η ενσωμάτωση της επικοινωνίας D2D στα κυψελωτά δίκτυα έχουν γίνει ένας ελκυστικός τομέας έρευνας. Ένας στόχος αυτής της εργασίας είναι να προτείνει κάποιες τεχνικές διαχείρισης πόρων με στόχο την αντιμετώπιση ορισμένων προκλήσεων των D2D επικοινωνιών, καθώς και την ανάδειξη των δυνατοτήτων τους.

Κατά συνέπεια, επικοινωνίες D2D μπορούν να ανοίξουν το δρόμο και για μαζικές επικοινωνίες από μηχανή με μηχανή (M2M). Επιπλέον, μπορούν να βοηθήσουν στην επέκταση της κάλυψης όπου μια κινητή συσκευή αναμεταδίδει τις πληροφορίες άλλου χρήστη εκτός εμβέλειας στον προορισμό του. Ως εκ τούτου, ένα μεγαλύτερος βαθμός αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας μπορεί να επιτευχθεί στο δίκτυο. Επίσης οι D2D επικοινωνίες οραματίζονται να αποτελέσουν μέσο για μια άλλη τεχνολογία, που αναφέρεται ως επικοινωνία οχήματος με όχημα (V2V).

3.4 Οι λειτουργίες της D2D τεχνολογίας ενεργοποιούν και αναδεικνύουν τα Internet of Things

Σε αυτήν την ενότητα θα περιηγηθούμε στα κύρια χαρακτηριστικά των επικοινωνιών D2D που έχουν προοπτική να καλύψουν τις απαιτήσεις του IoT. Πράγματι, οι επικοινωνίες εμβέλειας που ενεργοποιούνται από την τεχνολογία D2D αντιπροσωπεύουν ένα πρόσφορο έδαφος για περιπτώσεις χρήσης όπου οι συσκευές εντοπίζουν τους γείτονές τους και στη συνέχεια

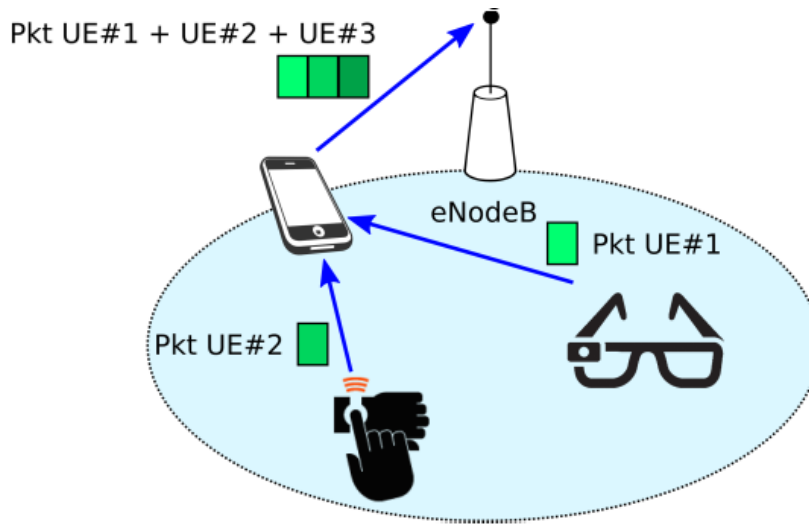
ενεργοποιούν διαφορετικές υπηρεσίες, όπως κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και παιχνίδια, διαφημίσεις, τοπική ανταλλαγή πληροφοριών κ.λπ.

Επικοινωνία χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας

Οι επικοινωνίες D2D εγγυώνται χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με κλασικούς τρόπους μετάδοσης, όπου οι συσκευές επικοινωνούν με το Σ.Β. ή το Access point. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά τις επικοινωνίες D2D πολύ ελκυστικές όσον αφορά την ικανοποίηση των απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης του IoT. Η χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας είναι άμεση συνέπεια της χαμηλότερης ισχύος μετάδοσης που απαιτείται σε συνδέσεις μικρής εμβέλειας με γειτονικές συσκευές. Αυτό σημαίνει ότι ο ενεργός χρόνος για τη συσκευή στη μετάδοση και λήψη δεδομένων μπορεί να μειωθεί σημαντικά, με επακόλουθη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, πολύτιμο για τις τυπικές λειτουργίες του IoT. Όταν εξετάζονται συγκεκριμένα τα σενάρια IoT, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη περαιτέρω περιορισμοί που επηρεάζουν τις απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, επειδή τα δεδομένα που ανταλλάσσονται ενδέχεται να ποικίλλουν πολύ σε μέγεθος φτάνοντας έως και σε μικροσκοπικά πακέτα σε διάφορα σενάρια. Επίσης, οι εμπειρίες που αποκτήθηκαν τα τελευταία χρόνια από την χρήση των IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη αξιοποίηση των εκτιμώμενων δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας στον τομέα των επικοινωνιών D2D.

Aggregation

Σε περιβάλλοντα IoT, οι περισσότερες από τις αλληλεπιδράσεις αναμένεται να πραγματοποιούνται τοπικά, δηλ. μεταξύ συσκευών που βρίσκονται στην ίδια φυσική τοποθεσία. Όπου χρειάζεται, οι αλληλεπιδράσεις από άκρο σε άκρο (end-to-end) μπορούν να αντιμετωπιστούν με έξυπνους τρόπους συγκέντρωσης, όπου μικρά δεδομένα από πολλά αντικείμενα (κοντά το ένα στο άλλο, είτε με παρόμοια μοτίβα κίνησης, είτε ανήκοντας στην ίδια εφαρμογή IoT) συλλέγονται από ένα και μόνο τερματικό, που τον ονομάζουν aggregator, ο οποίος στη συνέχεια προωθεί τα συγκεντρωτικά δεδομένα στον τελικό προορισμό. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η τεχνολογία D2D ταιριάζει 100% υποστηρίζοντας τη συγκέντρωση δεδομένων από γειτονικούς κόμβους.



Εικόνα 14: Εκπομπές συνάθροισης χρησιμοποιώντας την D2D τεχνολογία

Επέκταση κάλυψης

Η δυνατότητα εκμετάλλευσης των τοπικών συνδέσεων D2D μεταξύ συσκευών υποστηρίζει την επέκταση κάλυψης που μπορεί να επιτρέψει την πρόσβαση σε κόμβους που διαφορετικά θα βρισκότουσαν εκτός κάλυψης μιας κυψελοειδούς επικοινωνίας. Επιπλέον, οι network-assisted two-hop συνδέσεις D2D ενισχύουν την κάλυψη και την ενεργειακή απόδοση των κυψελοειδών δικτύων που είναι απαραίτητες π.χ. στην παροχή υπηρεσιών εθνικής ασφάλειας και δημόσιας ασφάλειας. Η ταυτόχρονη παρουσία εξαιρετικά κινητικών και σταθερών συσκευών στο IoT είναι μια μεγάλη πρόκληση. Οι mobile συσκευές ενδέχεται να αποσυνδεθούν από το δίκτυο καθώς κινούνται, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε διακοπτόμενη συνδεσιμότητα, προκαλώντας έτσι απρόβλεπτες αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου, γι' αυτό το λόγο μπορεί σίγουρα να επωφεληθούν από την D2D βοήθεια των γύρω συσκευών.

Multicast/Group επικοινωνία

Για επικοινωνίες που βασίζονται στη λειτουργία D2D, επιτρέπονται οι άμεσες μεταδόσεις multicast όπου τα ίδια πακέτα από ένα UE αποστέλλονται σε πολλούς δέκτες. Σημαντικά σενάρια είναι η τοπική μεταφορά αρχείων/video streaming (π.χ. διαφημιστικά μηνύματα), η ανακάλυψη συσκευής, η επιλογή/συντονισμός επικεφαλής cluster(cluster head) (π.χ. πρόσβαση σε συσκευές εκτός κάλυψης), και τα πακέτα group/broadcast (π.χ. για δίκτυα ασφαλείας). Η μετάδοση πολλαπλής εκπομπής(multicast) θα υποστηρίξει την ανάπτυξη οικοσυστημάτων IoT και θα βοηθήσει στην αντιμετώπιση προβλημάτων επεκτασιμότητας, ενεργειακής απόδοσης και αποτελεσματικής υποστήριξης των ομαδικών επικοινωνιών στο IoT.

D2D για Ετερογενή Δίκτυα Multi-RAT

Τα μελλοντικά περιβάλλοντα IoT θα περιλαμβάνουν την παρουσία ασύρματων δικτυωμένων συσκευών που θα χρησιμοποιούν τεχνολογίες πολλαπλής ραδιοπρόσβασης (RAT) για την εκτέλεση συνδέσεων από συσκευή σε υποδομή και από συσκευή σε συσκευή. Αυτό πολλές θα οδηγήσει σε ακραίες ετερογενείς αρχιτεκτονικές. Το οικοσύστημα IoT μπορεί να επωφεληθεί από τη χρήση του D2D και σε σενάρια με συσκευές πολλαπλών interfaces. Σε αυτήν την περίπτωση, η διαθεσιμότητα διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης δίνει την ευκαιρία σωστής επιλογής της ευνοϊκότερης τεχνολογίας σύνδεσης.

Αποτελεσματική υπηρεσίας ανακάλυψης γειτονικών συσκευών IoT

Οι αποτελεσματικές διαδικασίες για την ελαχιστοποίηση του κόστους peer discovery όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και ανταλλαγής κίνησης σε συσκευές IoT με μπαταρίας είναι εξαιρετικά απαιτούμενες. Όταν μιλάμε για ανίχνευση, ενεργοποίηση και δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων, πρέπει να εφαρμόζονται τα κατάλληλα layers για την παροχή κοινής κατανόησης μεταξύ των συσκευών που αλληλεπιδρούν. Η υλοποίηση των D2D συνδέσεων θα πρέπει επίσης να εγγυάται την καταλληλότερη αντιστοίχιση μεταξύ των αιτημάτων των χρηστών και των διαθέσιμων δυνατοτήτων της συσκευής, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τις συνθήκες του ασύρματου καναλιού και το φόρτο του δικτύου. Επιπλέον, για να βελτιωθεί η επαναχρησιμοποίηση των πόρων σε σενάρια IoT, οι διαδρομές κίνησης θα μπορούσαν να επιλεγούν σωστά για τον διαμοιρασμό συνδέσεων μεταξύ των multihop D2D διαδρομών.

3.5 Κάποιες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τα D2D δίκτυα

Ως συνέπεια των προαναφερθέντων πλεονεκτημάτων της επικοινωνίας D2D, έχει γίνει σημαντική έρευνα τα τελευταία χρόνια σχετικά με διαφορετικές πτυχές της επικοινωνίας D2D. Ειδικότερα, τα περισσότερα από τα έργα στη βιβλιογραφία επικεντρώνονται στην κατανομή πόρων και στον μετριασμό των παρεμβολών. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές πτυχές βάσει διάφορων πραγματικών σεναρίων που χρειάζονται περαιτέρω έρευνα.

Τα προβλεπόμενα κέρδη που θα αποκομίσουμε από την D2D επικοινωνία αντισταθμίζονται από το κόστος της πιο περίπλοκης διαχείρισης δικτύου. Η επιλογή του τρόπου λειτουργίας (δηλαδή, cellular mode ή D2D mode) και η ανακάλυψη γειτονικών συσκευών είναι δύο νέες λειτουργίες δικτύου που προκύπτουν στην D2D επικοινωνία. Επιπλέον η διαχείριση παρεμβολών μεταξύ cellular και D2D συνδέσεων πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη.

Επιπλέον, παρά τα προαναφερθέντα οφέλη, η επικοινωνία D2D αντιμετωπίζει σοβαρές απειλές όσον αφορά την ασφάλεια. Για παράδειγμα, σε ένα smart home περιβάλλον, ένας κακόβουλος χρήστης μπορεί να προσποιηθεί ότι είναι ένα έξυπνο τερματικό, στο οποίο συνδέονται όλες οι έξυπνες συσκευές σε λειτουργία D2D και μπορεί να αναλάβει τον έλεγχο ολόκληρου του σπιτιού. Ομοίως, ένας χρήστης που χρησιμοποιεί κοινωνικά δίκτυα βασισμένα στην απόσταση (πχ tinder) μπορεί ενδεχομένως να συνδεθεί με κακόβουλο χρήστη. Αυτό απαιτεί έναν μηχανισμό για τον έλεγχο της ασφάλειας και της κοινωνικής κατάστασης των συσκευών που χρησιμοποιούν την τεχνολογία D2D.

Ως εκ τούτου, καθίσταται επιτακτική ανάγκη να οριστεί μία ασφαλές και ενεργειακά αποδοτική αρχιτεκτονική επικοινωνίας D2D, στοχεύοντας υποστήριξη για τη διατήρηση του απορρήτου των χρηστών. Η εδραίωση εμπιστοσύνης σε μη αξιόπιστα περιβάλλοντα δεν παρακινεί μόνο τους χρήστες να συμμετέχουν σε εφαρμογές που βασίζονται σε D2D, αλλά επιτρέπει επίσης στις επιχειρήσεις να αξιοποιήσουν επιχειρηματικών μοντέλα που βασίζονται σε μη αξιόπιστα περιβάλλοντα. Η Cisco υπολογίζει ότι θα υπάρχουν 14,7 δισεκατομμύρια συνδέσεις M2M μέχρι το 2023 [2]. Δεδομένου του μεγέθους της αγοράς, έχοντας μία ασφαλή και ενεργειακά αποδοτική αρχιτεκτονική επικοινωνίας D2D γίνεται πρωταρχική ερευνητική πρόκληση. Θα δούμε πιο αναλυτικά τις προκλήσεις που αντιμετωπίσουν τα δίκτυα D2D στο κεφάλαιο 4.

3.6 Η ιστορία της cellular D2D επικοινωνίας

Σε αυτή την εργασία, εξετάζουμε την D2D επικοινωνία ως αναπόσπαστο μέρος του cellular δικτύου. Η πρώτη προσπάθεια εισαγωγής επικοινωνιών D2D σε ένα κυψελοειδές δίκτυο παρουσιάστηκε από την Qualcomm με το σύστημα FlashLinQ [31]. Το FlashLinQ είναι μία σύγχρονη ασύρματη peer-to-peer αρχιτεκτονική δικτύου που επιτρέπει στις cellular συσκευές να ανακαλύπτουν αυτόματα χιλιάδες άλλες συσκευές και να επικοινωνούν μαζί τους απ'ευθείας χωρίς την ανάγκη για ενδιάμεση υποδομή. Το FlashLinQ αντιπροσωπεύει μια αποτελεσματική μέθοδο για συγχρονισμό χρονισμού, peer discovery και διαχείριση συνδέσεων και είναι βασισμένο στον OFDMA τεχνολογία. Ο στόχος της Qualcomm ήταν να προσαρμόσει το FlashLinQ στο Long Term Evolution (LTE) σύστημα.

Εκτός από τα πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα του FlashLinQ, η διερεύνηση της τεχνολογίας D2D ως ενσωματωμένο σύστημα στα κυψελοειδή δίκτυα ενισχύθηκε από το αίτημα διάφορων κυβερνήσεων (κυρίως από τις Ηνωμένες Πολιτείες) να χρησιμοποιούν απευθείας σύνδεση για τη δημόσια ασφάλεια ως μέρος του δικτύου κινητής τηλεφωνίας LTE. Σε αυτό το ενδιαφέρον αντέδρασαν όχι μόνο ακαδημαϊκοί και τηλεπικοινωνίες εταιρείες αλλά και το Third Generation Partnership Project. Η ομάδα standardization (3GPP) έγινε ολοένα και πιο ενεργή στη διερεύνηση της επικοινωνίας D2D για τις υπηρεσίες που βασίζονται σε κοντινή απόσταση (ProSe). Για το ProSe θα μιλήσουμε στην επόμενη ενότητα.

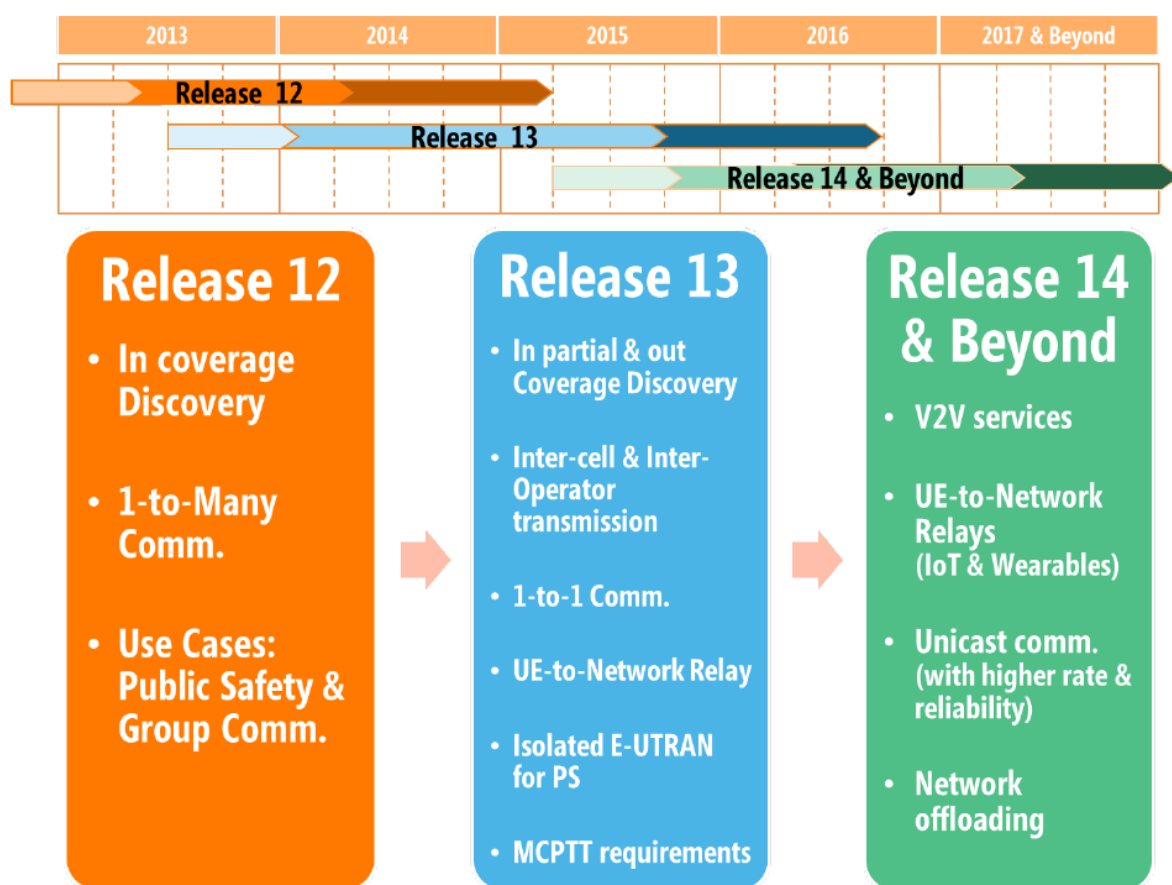
3.7 D2D Standardization

Σε αυτήν την ενότητα κάνουμε μια σύντομη επισκόπηση των δραστηριοτήτων standardization του 3GPP σχετικά με την επικοινωνία D2D. Εκτός από τις βιομηχανικές και ακαδημαϊκές έρευνες, το 3GPP εισήγαγε την επικοινωνία D2D στο ProSe (Proximity Services) Release 12 το 2012, προσεγγίζοντας περισσότερο τη διαδικασία ανακάλυψης συσκευών και περιπτώσεις χρήσης για τη Δημόσια Ασφάλεια (PS). Γενικότερα ερευνητικές ομάδες του 3GPP έχουν παρουσιάσει στο ProSe την αρχιτεκτονική και τις δυνατότητες της D2D επικοινωνίας καθώς

και πιθανές περιπτώσεις χρήσης με τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η D2D αλλά και με τις προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Το κύρια χαρακτηριστικά D2D που έχουν εξεταστεί από το 3GPP είναι: Διαχείριση ProSe, ανίχνευση συσκευών, συγχρονισμός, άμεση επικοινωνία κ.λπ.

Πολλαπλές βελτιώσεις συμπεριλήφθηκαν στις εκδόσεις 13 και 14. Όσον αφορά την επικοινωνία D2D, η έκδοση 13 [19] του 3GPP εστιάζει στο Mission Critical Push-To-Talk (MCPTT) μέσω LTE, το οποίο είναι ένας βασικός ενεργοποιητής για πολλές λειτουργίες δημόσιας ασφάλειας, όπως κλήσεις από άτομο σε άτομο, ομαδικές κλήσεις, διαχείριση ομάδας και διαχείριση χρηστών. Η πιο πρόσφατη προσθήκη είναι η έκδοση ProSe 17(2021) η οποία εξέτασε τη διαδρομή άμεσης επικοινωνίας στη δημόσια ασφάλεια χρησιμοποιώντας E-UTRAN ή WLAN. Οι δυνατότητες D2D που υποστηρίζονται από το 3GPP συνοψίζονται στην εικόνα 15.

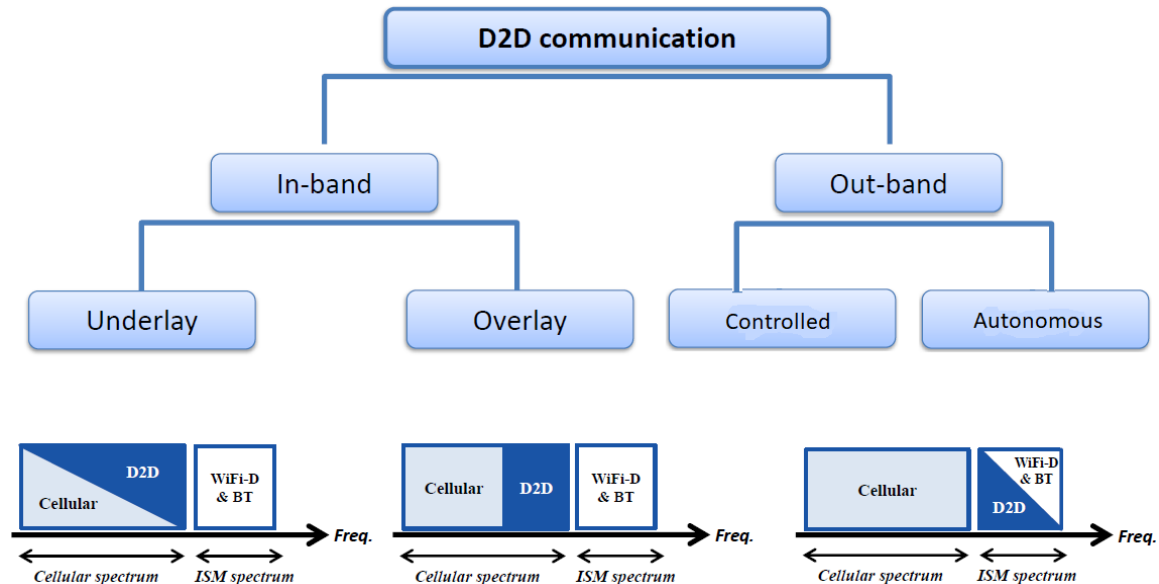
Οι συνεχιζόμενες μελέτες για τη βελτίωση της αρχιτεκτονικής και τη διαχείριση τηλεπικοινωνιακών πόρων της D2D τεχνολογίας παρακινούνται περαιτέρω από τις προβλέψεις σχετικά με τις ευκαιρίες που θα προσφέρει η επικοινωνία D2D στους παρόχους κινητής. Συγκεκριμένα, η SNS Research2 εκτιμά ότι, μέχρι το τέλος του 2025, οι πάροχοι μπορούν να κερδίσουν έως και 17 δισεκατομμύρια δολάρια σε ετήσια έσοδα από υπηρεσίες που βασίζονται στο ProSe με έως και 55% αυτού του εισοδήματος να αποδίδεται στη διαφήμιση βάσει εμβέλειας [34].



Εικόνα 15: Οι εκδόσεις ProSe του 3GPP και οι D2D λειτουργίες που εξέτασαν

3.8 Οι πόροι του φάσματος (inband-outband)

Η επικοινωνία D2D μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο κατηγορίες, την In-band D2D (με χρήση κυψελοειδούς φάσματος) και την Out-band D2D (χρησιμοποιώντας το unlicensed φάσμα) όπως απεικονίζεται στην εικόνα 16



Εικόνα 16: Επιλογή φάσματος στην D2D επικοινωνία

Inband D2D επικοινωνία: Σε αυτήν την περίπτωση, οι πόροι του κυψελοειδούς φάσματος είναι κοινόχρηστοι τόσο από την κινητή όσο και από την επικοινωνία D2D. Οι in-band επικοινωνίες D2D κατηγοριοποιούνται σε overlay και underlay

A. In-band underlay επικοινωνία (κοινόχρηστη λειτουργία)

Οι χρήστες D2D και οι χρήστες κινητής ανταγωνίζονται και μοιράζονται πόρους που διατίθενται σε χρήστες κινητής, προκαλώντας βελτίωση της φασματικής απόδοσης. Οι χρήστες κινητής έχουν αποκλειστικά μπλοκ πόρων και οι αποστολείς D2D επαναχρησιμοποιούν τα ίδια μπλοκ [19]. Η underlay επικοινωνία βελτιώνει την απόδοση των κυψελοειδών δικτύων διασφαλίζοντας καλύτερη φασματική απόδοση, παρόλα αυτά είναι η αιτία των παρεμβολών που προκαλεί η D2D επικοινωνία στην cellular επικοινωνία και το αντίστροφο. Παρόλο που ένας πολύπλοκος αλγόριθμος κατανομής πόρων μπορεί να δώσει λύση σε αυτό το πρόβλημα, αυτός ο αλγόριθμος θα είναι η αιτία υψηλότερου overhead υπολογισμού στο Σ.Β.

B. In-band overlay επικοινωνία (αποκλειστική λειτουργία)

Ένα μέρος του φάσματος είναι αποκλειστικό για την επικοινωνία D2D. Αυτό μειώνει το πρόβλημα παρεμβολής επειδή και οι χρήστες κινητής και D2D χρησιμοποιούν τις ξεχωριστές φασματικές ζώνες τους. Το πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας επικοινωνίας D2D είναι η ικανότητά της να βελτιώνει το scheduling και τον έλεγχο ισχύος[38]. Επιπλέον, βελτιώνει την ισχύ του σήματος και τη φασματική απόδοση στα relay-assisted δίκτυα [39], [40]. Ο κύριος περιορισμός in-band overlay επικοινωνίας είναι ότι κάποιο τμήμα του φάσματος που είναι

αφιερωμένο στο D2D μπορεί να μείνει αχρησιμοποίητο, γεγονός που οδηγεί σε μέτρια εκμετάλλευση πόρων και μείωση της απόδοσης.

Out-band D2D επικοινωνία: Σε αυτήν τη λειτουργία, η επικοινωνία D2D χρησιμοποιεί unlicensed φάσμα και οι συσκευές κινητής λαμβάνουν χώρα σε licensed φάσμα. Επειδή οι επικοινωνίες D2D και οι cellular επικοινωνίες χρησιμοποιούν διαφορετικές ζώνες φάσματος, το πρόβλημα παρεμβολής φάσματος που προκαλεί η μία στην άλλη εξαλείφεται. Παρόλα αυτά, το out-band D2D έχει προβλήματα στην οργάνωση των συνδέσεων σε δύο ξεχωριστές ζώνες, αφού η επικοινωνία D2D πραγματοποιείται σε άλλο radio interface. Το Out-band D2D κατηγοριοποιείται σε δύο υποκατηγορίες: Αυτόνομη D2D και Ελεγχόμενη D2D.

A. Out-band αυτόνομη επικοινωνία

Στην αυτόματη out-band επικοινωνία, η σύνδεση D2D ελέγχεται από τις ίδιες τις συσκευές που επικοινωνούν σε αντίθεση με την cellular επικοινωνία όπου ο ΣΒ ελέγχει τις συνδέσεις. Αυτή η μέθοδος μειώνει σημαντικά τον φόρτο εργασίας του δικτύου και καθώς δεν απαιτούνται σημαντικές αλλαγές κατά την εγκατάσταση ΣΒ, αυτή είναι μια εντυπωσιακή λύση για τους παρόχους υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας και για τους διαχειριστές του δικτύου. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν τη λειτουργία D2D είναι υπεύθυνες για την κατανομή πόρων σε νεοαφιχθείσες συσκευές, γεγονός που μειώνει το overhead σηματοδοσίας του δικτύου. Αυτό το ουσιαστικό πλεονέκτημα διευκολύνει την τοποθέτηση του ΣΒ, καθώς οι ίδιες οι συσκευές μπορούν να μεταφέρουν πολλών τύπων traffic requests χωρίς κάποια βοήθεια από κεντρική διαχείριση.

B. Out-band ελεγχόμενη επικοινωνία

Σε αυτήν την κατηγορία επικοινωνίας, η αντιστοίχιση μεταξύ των radio interfaces είναι ευθύνη του ΣΒ. Οι πόροι του φάσματος κατανέμονται εκ των προτέρων στους χρήστες D2D, ώστε να μπορούν να ανταγωνίζονται και να χρησιμοποιούν εξίσου τους πόρους της βιομηχανικής, επιστημονικής και ιατρικής ζώνης (ISM) [20]. Ο ΣΒ μπορεί να προτιμήσει έναν συγκεκριμένο χρήστη για να καλύψει τις ανάγκες QoS. Αυτό αυξάνει την απόδοση των δικτύων (throughput και αποδοτικότητα πόρων). Ωστόσο, ένα προφανές μειονέκτημα αυτού του τύπου επικοινωνίας είναι το αυξημένο overhead σηματοδοσίας παράλληλα με την αύξηση του μεγέθους και την πυκνοποίηση του δικτύου.

Πολλές μελέτες στη βιβλιογραφία μέχρι στιγμής έχουν διερευνήσει τις inband network-assisted D2D επικοινωνίες με έμφαση στο underlay σενάριο. Έρευνες όπως η [6] εξέτασε τη βιωσιμότητα των underlay επικοινωνιών D2D και έδειξε τις δυνατότητες για πολλά κέρδη στην φασματική απόδοση.

Η αυτοοργανωμένη unlicensed τεχνολογία D2D παρακινείται συνήθως από το χαμηλό overhead και την εύκολη εγκατάσταση που δεν απαιτεί καμία αλλαγή στους ΣΒ και στην cellular υποδομή. Ωστόσο, έχει ορισμένους περιορισμούς που σχετίζονται με το manual pairing και την πιθανή κακή εμπειρία χρήστη. Αυτοί οι περιορισμοί ξεπερνιούνται με την in-band D2D επικοινωνία, επειδή προβλέπεται να αξιοποιήσει τα προηγμένα διαχειριστικά χαρακτηριστικά της κυψελοειδούς υποδομής για τη βελτίωση της απόδοσης της επικοινωνίας, για την

απόδοση ισχύος, για ασφάλεια και για αξιοπιστία. Δεδομένου ότι και οι δύο κατηγορίες έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα, το πιο πιθανό ότι δεν θα ανταγωνίζονται για την επικοινωνία μικρής εμβέλειας, αλλά θα συνυπάρχουν σε μελλοντικά συστήματα.

3.9 Διαχείριση D2D

Το control plane της επικοινωνίας D2D παρουσιάζει πολλές προκλήσεις αφού δεν είναι δεδομένος ο πλήρης έλεγχος του δικτύου, ειδικά όταν οι συσκευές εισέρχονται σε μια περιοχή εκτός κάλυψης. Στην τελευταία περίπτωση, υπάρχουν δύο εναλλακτικές τοπολογίες: ad hoc τοπολογία (που η καθεμία συσκευή ελέγχει τη δική της συμπεριφορά) και η τοπολογία cluster (που ανατίθεται στον επικεφαλής cluster μια ομάδα συσκευών και παίζει το ρόλο του ΣΒ).

Η πρόσβαση στο φάσμα D2D μπορεί να γίνει είτε unlicensed είτε σε licensed φάσμα. Όπως είπαμε παραπάνω, κάποιες συσκευές μπορεί να έχουν πρόσβαση σε αποκλειστικό φάσμα, ενώ άλλες συσκευές μπορεί να μοιράζονται το φάσμα με τις υπάρχουσες cellular συσκευές. Επιπλέον, η χρήση πόρων Uplink (UL) για συνδέσεις D2D είναι πιο ευνοϊκή από τη χρήση πόρων Downlink (DL) για τους ακόλουθους λόγους. Ο D2D UE θα πρέπει να είναι εξοπλισμένος με δέκτη (SC-FDMA) και πομπό (OFDMA). Επιπρόσθετα όσον αφορά τις ρυθμιστικές ανησυχίες, το τελευταίο είναι πιο περίπλοκο από την άποψη του σχεδιασμού υλικού. Επιπλέον, οι πόροι UL συχνά χρησιμοποιούνται λιγότερο από τους πόρους DL.

Για τις συνδέσεις D2D, υπάρχουν δύο τρόποι κατανομής πόρων:

- Προγραμματισμένη λειτουργία, όπου ο ΣΒ προγραμματίζει τους πόρους της σύνδεσης
- Αυτόνομη λειτουργία, όπου κάθε συσκευή επιλέγει τους πόρους της σύνδεσης που απαιτούνται για τη μετάδοση δεδομένων και για τον έλεγχο του καναλιού από ένα resource pool. Αυτή η pool μπορεί να είναι στατική (προρυθμισμένη) ή δυναμική (ανάλογα με την κίνηση D2D). Μια συσκευή D2D μπορεί να εναλλάσσει τη λειτουργία της μεταξύ των δύο.

3.10 Συγχρονισμός D2D

Ο πομπός και ο δέκτης D2D πρέπει να συγχρονίζονται σε χρόνο και συχνότητα. Στην περίπτωση in-coverage D2D, ο συγχρονισμός παρέχεται από το δίκτυο. Παρ' όλα αυτά, ο συγχρονισμός μεταξύ των χρηστών D2D δεν είναι εγγυημένος αφού οι συσκευές ενός ζεύγους D2D μπορεί να έχει διαφορετικές ρυθμίσεις χρονισμού (δηλαδή όταν οι συσκευές βρίσκονται σε ξεχωριστές μη συγχρονισμένες κυψέλες ή όταν οι συσκευές βρίσκονται στην ίδια κυψέλη αλλά σε διαφορετικές αποστάσεις από το ΣΒ). Όταν οι συσκευές είναι εκτός κάλυψης, τότε τους ζητείται να στέλνουν περιοδικά σήματα συγχρονισμού. Αυτή είναι μία διαδικασία που καταναλώνει αρκετή ενέργεια

3.11 UE-to-Network Relay

Ο Εξοπλισμός Χρήστη ProSe (UE) σε λειτουργία αναμεταδότη ορίζεται στην Έκδοση 13 3GPP σαν μια συσκευή που παρέχει συνδεσιμότητα layer 3 σε άλλες συσκευές (που ονομάζονται απομακρυσμένοι χρήστες). Ο αναμεταδότης χρήστης είναι πάντα σε κάλυψη, κάτι που δεν

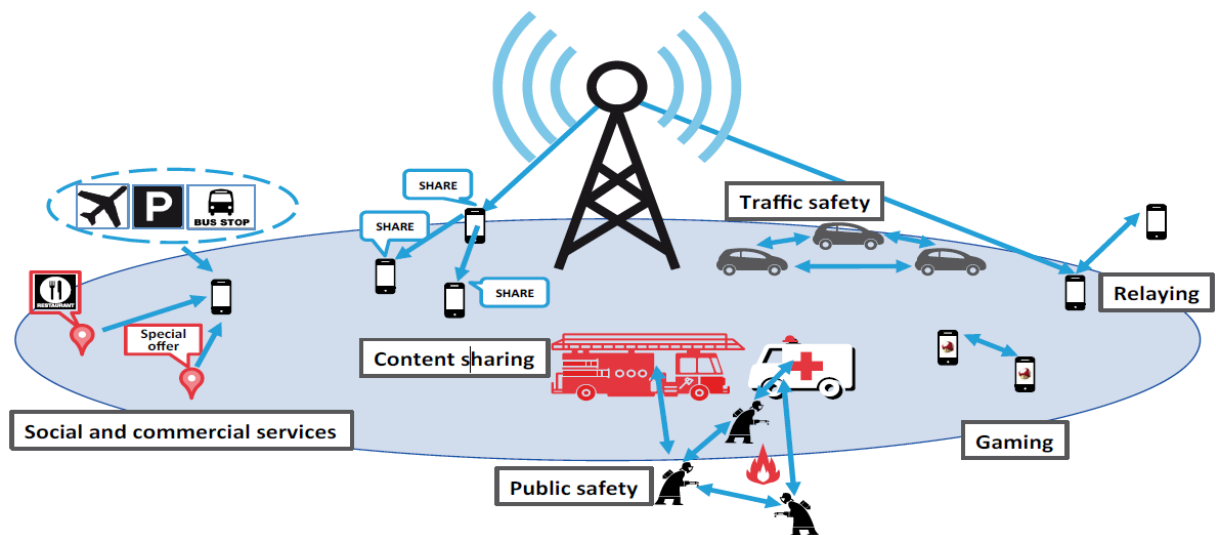
συμβαίνει με τους απομακρυσμένους χρήστες. Επομένως, αυτός ο αναμεταδότης μπορεί να επεκτείνει την κάλυψη του δικτύου αναμεταδίδοντας την layer 3 κίνηση μεταξύ των απομακρυσμένων χρηστών και του δικτύου. Υλοποιείται έτσι μια διασύνδεση D2D μεταξύ του αναμεταδότη και του απομακρυσμένου χρήστη, ωστόσο η υπάρχουσα κυψελοειδής υποδομή χρησιμοποιείται από τον αναμεταδότη για τη σύνδεση στο δίκτυο.

Οι κύριες διαδικασίες του UE-to-Network relay προχωράνε κάπως έτσι:

1. *Εκκίνηση αναμετάδοσης UE*: Ο ΣΒ καθορίζει εάν η λειτουργία αναμετάδοσης υποστηρίζεται ή δεν υποστηρίζεται από αυτήν την UE συσκευή.
2. *Ανακάλυψη αναμεταδότη*: Εφαρμόζεται το κατάλληλο discovery μοντέλο για την ανακάλυψη κοντινών υποψηφίων αναμεταδοτών.
3. *Επιλογή αναμεταδότη*: η επιλογή του αναμεταδότη γίνεται με βάση την ποιότητα ραδιοζεύξης των υποψήφίων αναμεταδοτών, ωστόσο τα λεπτομερή κριτήρια επιλογής αναμεταδότη είναι πάρα πολλά και απαιτούν περαιτέρω μελέτες.
4. *Επίτευξη της σύνδεσης*: Ο αναμεταδότης ολοκληρώνει την 1-to-1 σύνδεση με τον απομακρυσμένο χρήστη με σκοπό να παρέχει unicast κίνηση.
5. *Αναφορά πληροφοριών απομακρυσμένου UE*: Μόλις ολοκληρωθεί η σύνδεση D2D, ο αναμεταδότης αναφέρει στο δίκτυο κάποιες πληροφορίες σχετικά με το απομακρυσμένο UE (π.χ. αναγνωριστικό του UE, τη διεύθυνση IP του κ.λπ.).

3.12 Ευκαιρίες και σενάρια εφαρμογής

Υπάρχει ένας αυξανόμενος αριθμός σεναρίων που απαιτούν την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ κοντινών τερματικών και επομένως μπορούν να υποστηριχθούν από την τεχνολογία D2D. Σε αυτήν την ενότητα, παρέχουμε μερικά παραδείγματα περιπτώσεων όπου προβλέπεται επικοινωνία D2D για τη βελτίωση της απόδοσης των υφιστάμενων υπηρεσιών μικρής εμβέλειας αλλά και νέα σενάρια που θα επιτρέψει η D2D τεχνολογία. Οι εικόνες 17-20, απεικονίζουν ορισμένες περιπτώσεις χρήσης της D2D επικοινωνίας.



Εικόνα 17: Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις χρήσης επικοινωνίας D2D σε cellular δίκτυα

Κοινωνικές και εμπορικές υπηρεσίες

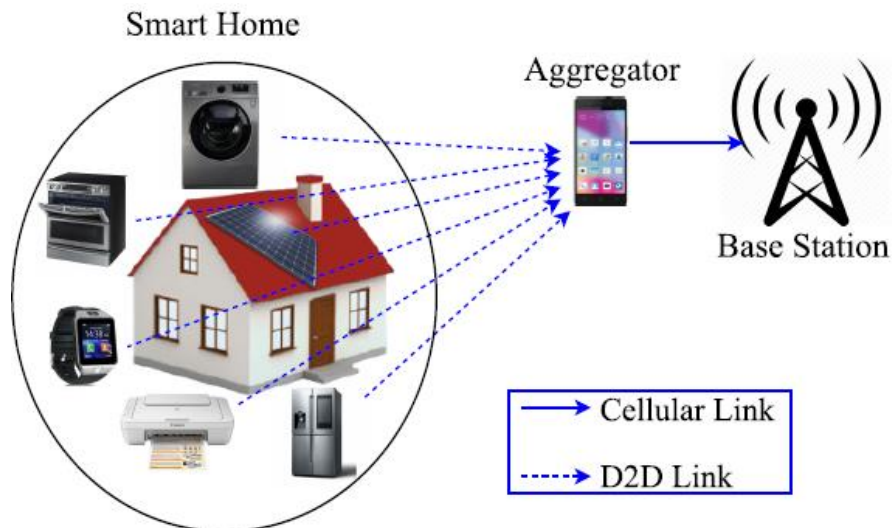
Η επικοινωνία D2D είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την υποστήριξη των αυξανόμενων απαιτήσεων του κόσμου για την κοινή χρήση περιεχομένου. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- επικοινωνίες εντός της ίδιας γειτονιάς με χρήση εφαρμογών κοινωνικής δικτύωσης
- κοινή χρήση αρχείων πολυμέσων μεταξύ αξιόπιστων χρηστών σε κοντινές αποστάσεις
- δημοφιλή αιτήματα για το ίδιο περιεχόμενο σε ένα πολυσύχναστο μέρος (π.χ. στάδιο ή σε μια συναυλία).
- Mobile Multiplayer Gaming στα οποία η υψηλή ταχύτητα, το χαμηλό latency και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας παίζουν πρωταρχικό ρόλο. Αυτές τις απαιτήσεις μπορούν πολύ εύκολα να τις εξυπηρετήσουν οι απευθείας μεταδόσεις, κάτι που οι συμβατικές μεταδόσεις uplink/downlink αντιμετωπίζουν πολύ πιο δύσκολα.
- Η επικοινωνία D2D μπορεί πιθανώς να γίνει ένα νέο κανάλι για τοπικές προωθήσεις ή διαφημίσεις από καταστήματα και εστιατόρια σε κοντινούς χρήστες [7]
- Τοπική μετάδοση πληροφοριών σχετικά με υπηρεσίες δημόσιων συγκοινωνιών, όπως δρομολόγια συρμών σε σταθμούς μετρό ή ενημερώσεις πτήσεων σε αεροδρόμια [8].

Smart Home

Με την έννοια smart home εννοούμε ένα συνδεδεμένο, ελεγχόμενο και έξυπνο σπίτι όπου όλα τα συστήματα, συμπεριλαμβανομένης της θέρμανσης και του φωτισμού, επικοινωνούν

μεταξύ τους και μπορούν να ελεγχθούν από οπουδήποτε ανά πάσα στιγμή χρησιμοποιώντας ένα μόνο τηλέφωνο, tablet ή υπολογιστή, με κύριο στόχο την ενεργειακή απόδοση. Σήμερα, σχεδόν όλα έξυπνα οικιακά συστήματα εξακολουθούν να χρησιμοποιούν το X10 Zigbee, το Z-Wave το Bluetooth και το WiFi. Η D2D cellular επικοινωνία θα μπορούσε να έχει μερίδιο σε αυτή την αγορά, προσφέροντας πολύ μικρό latency και μεγάλη εξοικονόμηση κατανάλωσης ενέργειας. Το κινητό θα λειτουργεί σαν aggregator όλων των πληροφοριών που δέχεται από τις συσκευές.



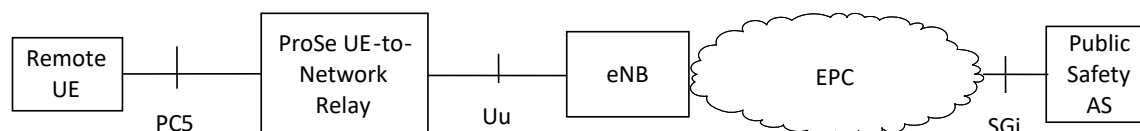
Εικόνα 18: Η D2D στα smart homes

Δημόσια ασφάλεια

Η επικοινωνία D2D αντιπροσωπεύει μια ελκυστική επιλογή για οργανισμούς δημόσιας ασφάλειας όπως η αστυνομία και η πυροσβεστική που καλούνται να παρέμβουν μετά από φυσική καταστροφή (π.χ. σεισμό ή τυφώνα) ή κατά τη διάρκεια συνωστισμού σε εκδηλώσεις (π.χ. Ολυμπιακοί Αγώνες). Σε αυτές τις περιπτώσεις, το cellular δίκτυο ενδέχεται να αποτύχει λόγω της ζημιάς των υποδομών ή της μεγάλης συμφόρησης και υπερφόρτωσης λόγω του έντονου φόρτου κίνησης. Η τεχνολογία D2D αντιπροσωπεύει μια λύση για τη μετάδοση πληροφοριών μέσω αξιόπιστων συνδέσεων μικρής εμβέλειας μεταξύ των πρώτων ανταποκριτών (πχ πυροσβεστών), που πρέπει πάντα να είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και με τον τοπικά και απομακρυσμένα κέντρα επιχειρήσεων για λήψη/αποστολή έγκαιρων πληροφοριών. Ταυτόχρονα, οι συσκευές με δυνατότητα D2D μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άτομα που βρίσκονται σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης για την ειδοποίηση των αρχών ή των πλησιέστερων συγγενών σχετικά με την ακριβή τοποθεσία τους και την κατάστασή τους.

Παραδοσιακά, οι υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας αγοράζουν τις δικές τους τεχνολογίες επικοινωνίας (π.χ. TETRA). Αυτά τα συστήματα βασίζονται σε ξεχωριστές υποδομές και συσκευές, που χρησιμοποιούν διαφορετικά πρότυπα ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή (μπορεί να διαφέρουν ακόμη και εντός της ίδιας χώρας), και κυρίως παρέχουν φωνητικές υπηρεσίες. Υπάρχουν πολλοί λόγοι να πιστεύουμε ότι η προσθήκη νέων υπηρεσιών θα μπορούσε να είναι χρήσιμη σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, εξετάζοντας την

ευρυζωνική μεταφορά δεδομένων, το βίντεο σε πραγματικό χρόνο και τον γεωεντοπισμό θα μπορούσε να εντοπιστεί η ακριβής τοποθεσία των αρχών ή των τραυματιών[12]. Επειδή τα cellular δίκτυα είναι ήδη διαθέσιμα, η τεχνολογία D2D ενσωματωμένη σε cellular συστήματα γίνεται μια ελκυστική δυνατότητα βελτίωσης τόσο του κόστους όσο και της απόδοσης των δικτύων δημόσιας ασφάλειας.



Εικόνα 19: UE-to-Network Relay μοντέλο για δημόσια ασφάλεια που συζητήθηκε στο ProSe release 17[50]

Δίκτυα οχημάτων

Εκτός από τις ανθρωποκεντρικές επικοινωνίες, τα μελλοντικά cellular συστήματα αναμένεται να δημιουργήσουν μια εκτεταμένη διασύνδεση μεταξύ άλλων τύπων τερματικών όπως κάμερες, εκτυπωτές και οχήματα. Ειδικότερα, η vehicle-to-vehicle (V2V) επικοινωνία στοχεύει στην υποστήριξη της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ οχημάτων κοντινής απόστασης για την αποφυγή ατυχημάτων και τη βελτίωση της διαχείρισης της κυκλοφορίας.

Οι τρέχουσες λύσεις για την επικοινωνία V2V, όπως τα δίκτυα ad-hoc δεν φαίνεται να φτάνουν την επιθυμητή απόδοση [32]. Η τεχνολογία D2D είναι ένας καλός υποψήφιος για δίκτυα οχημάτων, λόγω των δυνατοτήτων του να ανταποκρίνεται στην αυστηρή αξιοπιστία και στις πρακτικά ανύπαρκτες καθυστερήσεις που επιβάλλονται στις εφαρμογές V2V [34].

Cooperative D2D

Η βασική ιδέα της cooperative επικοινωνίας D2D είναι ότι οι κινητές συσκευές μπορούν να λειτουργήσουν ως αναμεταδότες για να βοηθήσουν στη μεταφορά της κίνησης δεδομένων από τον πομπό στον προβλεπόμενο δέκτη (σταθμός βάσης ή UE χρήστες) όταν ο άμεσος κόμβος είναι απρόσιτος εξαιτίας κακών συνθηκών διάδοσης. Μια τέτοια συνεργασία μπορεί να είναι χρήσιμη, για παράδειγμα, όταν είτε ο cellular πομπός είτε ο δέκτης βρίσκονται εκτός δικτύου, αλλά υπάρχουν άλλοι χρήστες εντός της περιοχής κάλυψης που μπορούν να αναμεταδώσουν τα δεδομένα. Ένα άμεσο όφελος αυτής της συνεργασίας, σε αντίθεση με τη σταθερή αναμετάδοση, είναι η μείωση του κόστους υποδομής δεδομένης της αφθονίας των κινητών τερματικών που είναι πάντα σκορπισμένα στην περιοχή των δικτύων.

Εκφόρτωση κίνησης (traffic offloading)

Αφορά το in-band underlay σενάριο που αναφέραμε σε προηγούμενη ενότητα. Σε αυτό το σενάριο, η επικοινωνία D2D χρησιμοποιείται για να μειώσει τον φόρτο του ΣΒ. Για

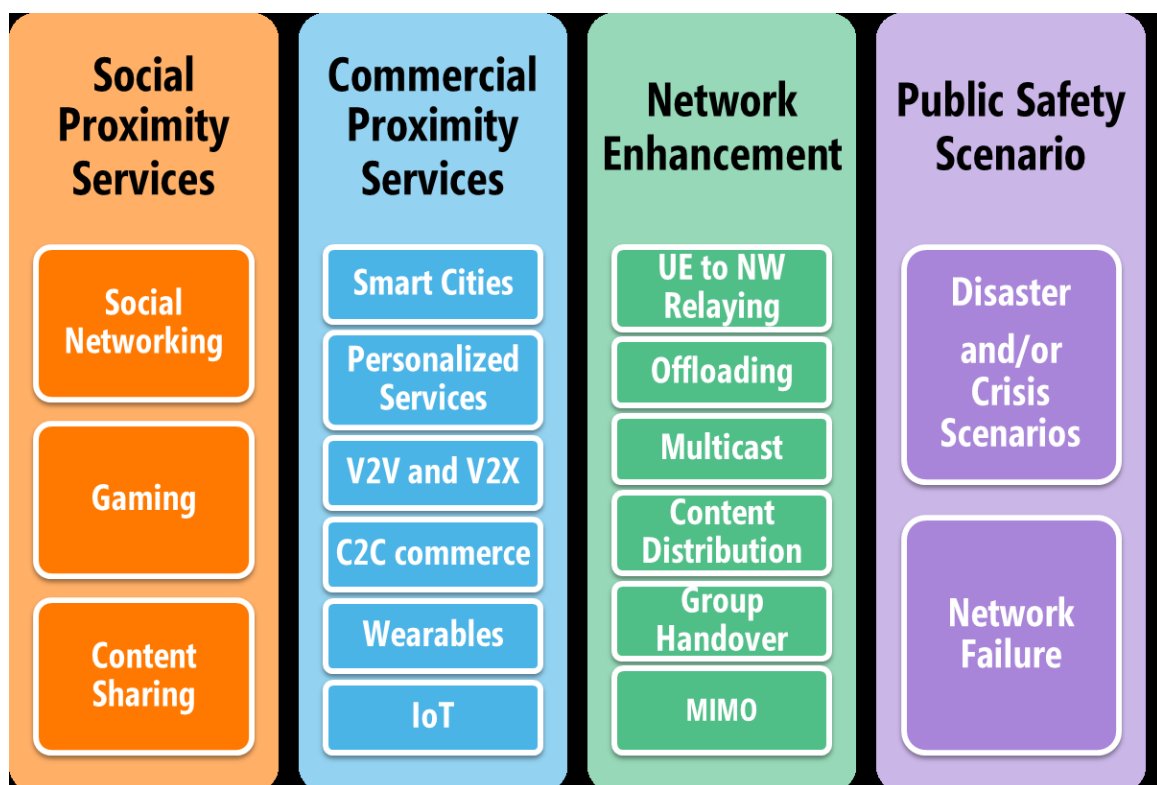
παράδειγμα, εάν οι συσκευές είναι κινητές και η τήρηση της απαίτησης QoS είναι δύσκολη, η λύση είναι να προχωρήσουμε σε πιο ανεκτικές σε καθυστερήσεις υπηρεσίες για την εκφόρτωση του δικτύου. Ωστόσο, εάν μία ή και οι δύο συσκευές επικοινωνίας είναι ακίνητες, τότε οι συνδέσεις D2D μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφόρτωση υπηρεσιών όπως η real-time επικοινωνία και τα multiplayer games με ενισχυμένη απόδοση

Παροχή υπηρεσιών εκτάκτου ανάγκης

Εάν δεν υπάρχει κάλυψη του δικτύου, αυτό το σενάριο εφαρμογής είναι η λύση. Οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης είναι το τέλειο σενάριο για την χρήση της D2D επικοινωνίας, όπως όταν η υποδομή της κινητής είναι μερικώς ή ολικώς κατεστραμμένη. (για παράδειγμα λόγω φυσικής καταστροφής). Οι γειτονικές συσκευές μπορούν να δημιουργήσουν μία σύνδεση αυτόνομα μεταξύ τους και να οργανώσουν μια επικοινωνία D2D ακόμα και αν δεν υπάρχει υποδομή. Αυτή η περίπτωση χρήσης είναι σαν τα Mobile Ad-hoc Networks (MANET). Ωστόσο, τα MANET λειτουργούν σε unlicensed φάσμα, ενώ οι επικοινωνίες D2D πραγματοποιούνται σε licensed φάσμα.

Επέκταση της κάλυψης κινητής

Σε κάθε άκρη κυψέλης, οι χρήστες κινητής αντιμετωπίζουν κακή ή μειωμένη ισχύ σήματος και αυξημένη εξασθένιση του καναλιού. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας συνδέσεις D2D, οι συσκευές μπορούν να αναμεταδώσουν την πληροφορία στο σταθμό βάσης. Αυτό βελτιώνει τη διεκπεραίωση δικτύου, η οποία επηρεάζεται από τους χρήστες στην άκρη των κελιών.



Εικόνα 20: Περιπτώσεις χρήσης της D2D επικοινωνίας

Αξιόπιστη παρακολούθηση της υγείας

Για την παρακολούθηση της υγείας, η αξιόπιστη επικοινωνία θεωρείται βασική υποχρέωση. Οι ασθενείς που είναι εξοπλισμένοι με συσκευές χρειάζεται κάθε στιγμή να επικοινωνούν με τον sink node για να παρακολουθούν κάθε είδους μετρήσεις. Οι συνδέσεις D2D μπορούν να προσφέρουν αρκετή αξιοπιστία για να φτάσουμε σε ένα απόλυτα αποτελεσματικό σύστημα παρακολούθησης της υγείας.

Διασπορά δεδομένων

Μια άλλη εξελισσόμενη εφαρμογή είναι η διασπορά ή διάχυση δεδομένων, η οποία χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά εγγύτητας και άμεσης μετάδοσης δεδομένων. Εκτός από την αύξηση της πιθανότητας λήψης δεδομένων, η προαναφερθείσα υπηρεσία μπορεί επίσης να δημιουργήσει νέες πηγές εισοδήματος για τους διαχειριστές. Για παράδειγμα, οι άνθρωποι που περνούν από ένα εμπορικό κέντρο μπορούν να λάβουν εκπωτικές προσφορές και προωθητικές ενέργειες που αποστέλλονται από το εμπορικό κέντρο. Οι αίθουσες μπορούν να ενημερώνουν τους ανθρώπους που μπαίνουν στον κινηματογράφο για ταινίες όπως ώρες προβολής και ημερομηνίες κυκλοφορίας. Επίσης τα διαφημιστικά γραφεία, θα μπορούν να στοχεύουν μια συγκεκριμένη ομάδα ανθρώπων μέσω social-aware επικοινωνία D2D[21].



Εικόνα 21: Πιθανές εφαρμογές της τεχνολογίας D2D

3.13 Η Επικοινωνία D2D στις τεχνολογίες 5G

Τα προηγούμενα χρόνια είχαμε μία αισθητή εξέλιξη της επικοινωνίας D2D, αλλά πολλά ζητήματα πρέπει να επιλυθούν πριν μπορέσει η τεχνολογία D2D να γίνει 100% επωφελής για τα δίκτυα 5G. Όπως φαίνεται στην εικόνα 22, υπάρχουν πολλοί χώροι ενσωμάτωσης της τεχνολογίας D2D στα κυψελωτά δίκτυα 5G.

Hyper dense δίκτυα

Τα δίκτυα μελλοντικών γενεών εκτιμάται ότι θα αλλάξουν από τα κεντρικά δίκτυα σε μη γραμμικά ετερογενή και τυχαία δίκτυα. Οι ιδιωτικοί οργανισμοί αναμένεται να εγκαταστήσουν ένα συνδυασμό λειτουργικών μονάδων δικτύων (συμπεριλαμβανομένων των οδικών μονάδων, των femto-cells και των σημείων πρόσβασης Wi-Fi) σε ένα εξαιρετικά πυκνό περιβάλλον.

Ένα πυκνό setup δικτύου εμφανίζει διάφορους τύπους ευκαιριών και ζητημάτων σε αντίθεση με τα συμβατικά κυψελωτά δίκτυα[22]. Η ύπαρξη τεράστιου αριθμού UE μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη κοινωνικής δικτύωσης. Επιπλέον, τα ultra-dense δίκτυα που βασίζονται στην εμπιστοσύνη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εγγυηθούν την ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών, ενώ ταυτόχρονα διαχειρίζονται αποτελεσματικά τους πόρους του δικτύου. Οι UE μπορούν επίσης να αυτοπαραμετροποιούνται έτσι ώστε ο τρόπος που οι χρήστες που ζητούν κοινά δεδομένα μπορούν να απλοποιηθεί. Αυτό μπορεί κατά συνέπεια να διασφαλίσει την αποτελεσματική χρήση των πόρων ενώ μειώνει στιγμιαία το φόρτο στο ΣΒ μειώνοντας τη διάχυση περιττών δεδομένων στους UE[23]. Ακόμη και με αυτή την πρόοδο, θα πρέπει να δοθεί εξαιρετική προσοχή σε θέματα σχεδιασμού που επηρεάζουν τον έλεγχο ταυτότητας και την κινητικότητα των συσκευών στο δίκτυο.

Οι παρεμβολές σε ετερογενή δίκτυα είναι ένα άλλο ανησυχητικό ζήτημα. Σε αυτό το πλαίσιο, οι παρεμβολές από γειτονικά μικρά δίκτυα και σημεία πρόσβασης (access points) εκτιμάται ότι θα αυξηθούν εκθετικά, γεγονός που θα μειώσει την απόδοση D2D. Παρόλο που τα πλάνα εξάλειψης παρεμβολών δικτύου μπορεί να είναι ωφέλιμα, αυτές οι τεχνικές χρειάζονται μία proactive επίγνωση του διαύλου. Επιπλέον, η βιωσιμότητα των προσεγγίσεων αλλαγής ισχύος μπορεί να χρειαστεί περαιτέρω έλεγχο, καθώς ένα μία μικρή διάλειψη απειροελάχιστου χρόνου μπορεί να διαταράξει την προσαρμοστική ισχύ της μετάδοσης.



Εικόνα 22: Η ενσωμάτωση D2D στα 5G δίκτυα

Multi user MIMO και massive MIMO

Το MIMO πολλαπλών χρηστών (MU-MIMO) είναι μια σημαντική τεχνολογία, η οποία έχει υιοθετηθεί σε πολλά συστήματα όπως το LTE-A για να επιτευχθεί μεγαλύτερο κέρδος σήματος στον χρήστη. Ο συνδυασμός MU-MIMO και D2D μπορεί να αυξήσει τη φασματική απόδοση, ωστόσο αυξάνει τις inter-cell και intra-cell παρεμβολές. Εκτός από το MU-MIMO, τα massive MIMO συστήματα μπορούν να είναι ελκυστικά για να αυξήσουν την αξιοπιστία της Uplink επικοινωνίας D2D.

Η massive MIMO είναι μια σειρά κεραιών τεράστιου μεγέθους που χρησιμοποιείται στο ΣΒ για να εξυπηρετεί πολλούς χρήστες στο δίκτυο. Επιβεβαιώνεται ότι τα κανάλια είναι σχεδόν ορθογώνια για όλους τους χρήστες. Αυτό επιτρέπει μία απλή εκπομπή και λήψη των συστημάτων επεξεργασίας σήματος, ενώ μειώνει την επίδραση των παρεμβολών[24]. Αυτό υποδηλώνει συνεπώς ότι η χρήση massive MIMO μαζί με το D2D για την επικοινωνία uplink μπορεί να επιτύχει σχεδόν μηδενικές παρεμβολές μέσω ενεργειακά αποδοτικών μεθόδων στις

συσκευές. Παρόλο που έχουμε αυτό το μοναδικό πλεονέκτημα της χρήσης massive MIMO για την D2D επικοινωνία, το πρόβλημα των παρεμβολών από τους cellular χρήστες (CU) στα ζεύγη D2D εξακολουθεί να εμφανίζεται.

Energy Harvesting στην επικοινωνία D2D

Οι προβληματικές επιπτώσεις της εκθετικής αύξησης των χρηστών κινητών στη γήινη ατμόσφαιρα έχουν αρχίσει να γίνονται πιο εμφανείς με την πάροδο του χρόνου. Η διάγνωση που δόθηκε από το [25], διευκρινίζει ότι το αποτύπωμα άνθρακα των κινητών επικοινωνιών θα αυξάνεται ετησίως, έως το 2020 θα έφτανε τα 11 Mto CO₂, που είναι το ίδιο με το αποτύπωμα άνθρακα που παράγεται από 2,5 εκατομμύρια οικογένειες σε ολόκληρη την Ευρώπη. Έτσι, για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας έχουν προταθεί συστήματα όπως η περιβαλλοντική και αποκλειστική συλλογή ενέργειας. Για αυτό το θέμα, η συλλογή ενέργειας ραδιοσυχνοτήτων (RF) (αποθήκευση ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων) έχει ευαισθητοποιήσει τις ερευνητικές ομάδες. Οφείλεται κυρίως στη διπλή φύση των RF σημάτων, που είναι η ικανότητα μεταφοράς ισχύος και πληροφοριών ταυτόχρονα.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η συλλογή ενέργειας έχει διερευνηθεί πρόσφατα σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, σε δίκτυα υποβοηθούμενης αναμετάδοσης και στα cognitive δίκτυα. Οι συσκευές D2D συνήθως τροφοδοτούνται από προφορτισμένες μπαταρίες.

Λόγω της επαναλαμβανόμενης μετάδοσης δεδομένων, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειάς τους εκφυλίζεται κατά την επεξεργασία και κατά τη μετάδοση του RF σήματος. Αυτές οι συσκευές γίνονται άχρηστες όταν οι μπαταρίες τους τελειώσουν. Μια ενθαρρυντική λύση για την επίλυση αυτής της πρόκλησης είναι να επιτραπεί σε αυτές τις συσκευές να συλλέγουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η συλλεγόμενη ενέργεια μπορεί να επεκτείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής των συσκευών.

Αξιοποίηση νέων ζωνών φάσματος

Μια ευνοϊκή βασική τεχνολογία για το μελλοντικό κυψελοειδές δίκτυο 5G είναι οι ζώνες mmWave. Το mmWave περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία φερουσών συχνοτήτων που λειτουργούν στη ζώνη των 30-300 GHz. Προσφέρει συνδεσιμότητα μικρής εμβέλειας και υψηλού εύρους ζώνης για συσκευές κινητής. Η ζώνη mmWave έχει πολλά επιθυμητά χαρακτηριστικά, όπως υψηλό εύρος ζώνης, συμβατότητα με κατευθυντικές εκπομπές και πυκνή ανάπτυξη.

Οι ερευνητές στο [26] συζήτησαν σχετικά με τις προκλήσεις της τεχνολογίας mmWave για δίκτυα κινητής 5G και τόνισαν την επίδραση της κινητικότητας των χρηστών στην επιδείνωση της απόδοσης. Ωστόσο, για να αντιμετωπιστούν αυτά τα ζητήματα, οι ερευνητές στο [27] έδειξαν ότι οι κατευθυντικές κεραίες θα ήταν απαραίτητες για την επιτυχή ενσωμάτωση της επικοινωνίας D2D που διέπουν τα υλοποιήσεις με mmWave.

Είναι προφανές ότι το mmWave μαζί με την επικοινωνία D2D μπορούν να παράγουν σημαντικό εισόδημα για τους παρόχους υπηρεσιών κινητής και τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων, ωστόσο ο υψηλός ρυθμός απορρόφησης και η εκτεταμένη έκθεση στο mmWave μπορεί να είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΟΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΤΗΣ D2D ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

4.1 Τα ζητήματα που θέτει η ενσωμάτωση της D2D τεχνολογίας στα κυψελωτά δίκτυα

Η ενσωμάτωση της D2D τεχνολογίας στα κυψελωτά δίκτυα θέτει νέα τεχνικά ζητήματα και σχεδιαστικά προβλήματα. Η επιλογή τρόπου λειτουργίας (mode selection) είναι απαραίτητη για να έχουμε μία αποτελεσματική σύνδεση D2D, ωστόσο προτάθηκαν πολλοί μέθοδοι, αλλά ακόμη και με αυτές τις βελτιωμένες λύσεις, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις όπως η επιλογή σταθερής λειτουργίας το overhead εναλλαγής τρόπου λειτουργίας. Η ανακάλυψη συσκευών(device discovery) είναι επίσης σημαντική. Πολλές μελέτες πρότειναν μεθόδους όπως η γρήγορη και ασύγχρονη ανακάλυψη συσκευών. Ωστόσο, ζητήματα όπως ο ρόλος της παρεμβολής στο D2D και η πυκνοποίηση των συσκευών βρίσκονται ακόμη υπό διερεύνηση. Όσον αφορά την ασφάλεια έχουν προταθεί συστήματα ελέγχου ταυτότητας σε application και σε physical layers. Ωστόσο, δεν έλαβαν υπόψη τους τα trade-offs μεταξύ ασφάλειας και ενέργειας.

Στη συνέχεια, δίνουμε μια επισκόπηση των βασικών προκλήσεων στην ανάπτυξη λειτουργικών δικτύων με δυνατότητα D2D. Κάποιες προκλήσεις που έχουν απασχολήσει του ερευνητές το τελευταίο διάστημα είναι:

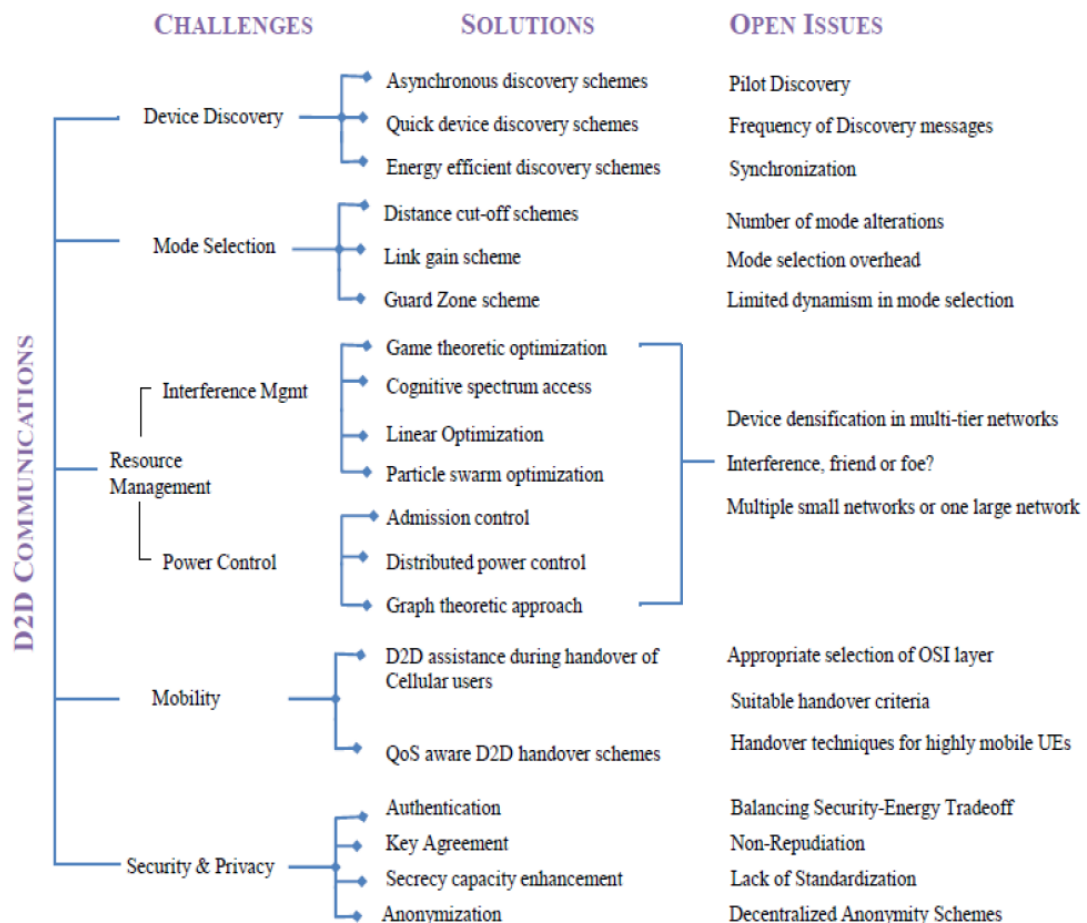
Τεχνικές προκλήσεις:

- Πρόσβαση στο φάσμα (inband, outband)
- Πόροι και/ή κατανομή ισχύος
- Κατανάλωση ενέργειας
- Διαχείριση παρεμβολών
- Διαμόρφωση (OFDMA ή SC-FDMA)
- Μετρήσεις του Channel State Information (CSI)
- Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) (όσον αφορά την ευρωστία),
- Τεχνικές σηματοδότησης (overhead)
- Μοντέλο καναλιού (εσωτερικός ή εξωτερικός χώρος)

- Διαδικασίες αρχιτεκτονικής (συγχρονισμός, ανακάλυψη κλπ)
- Απόρρητο
- Έλεγχος ταυτότητας
- Ασφάλεια

Επιχειρηματικές προκλήσεις

- Επικοινωνία D2D μεταξύ παρόχων,
- Νόμιμη παρακολούθηση των συσκευών
- Χρέωση , τιμολόγηση



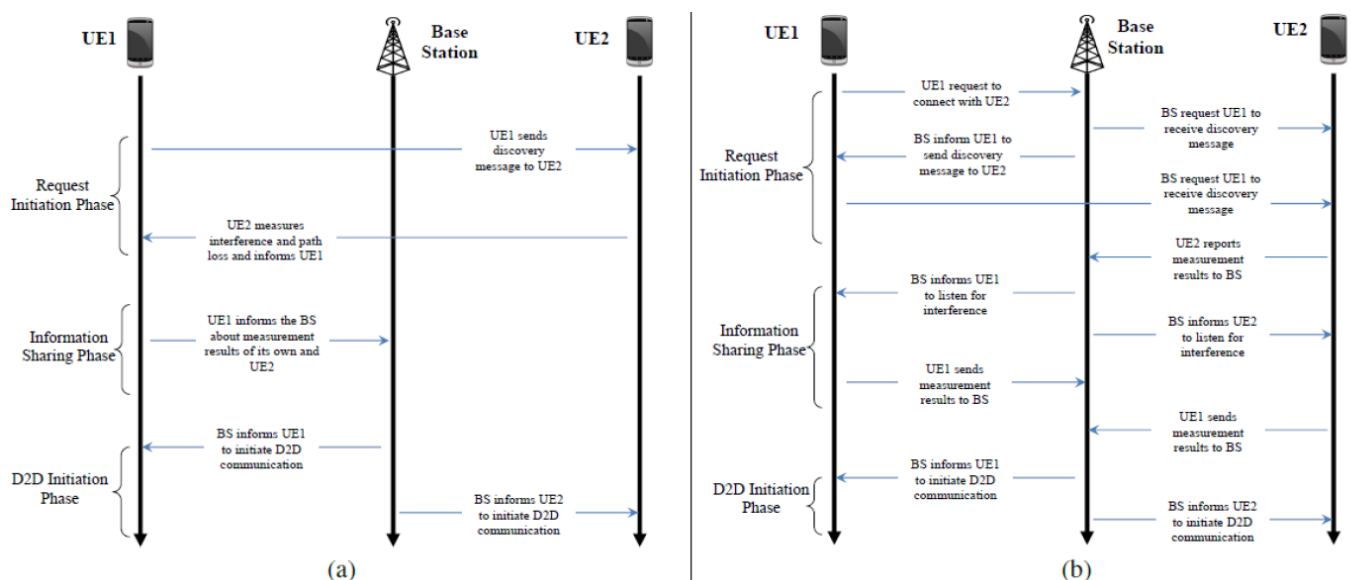
Εικόνα 23: Προκλήσεις, λύσεις και ανοιχτά ζητήματα της D2D Επικοινωνίας

4.2 Device Discovery

Ένα πολύ σημαντικό μέρος για τις επικοινωνίες D2D είναι η ανακάλυψη συσκευών, η οποία επιτρέπει στις συσκευές να βρουν πιθανούς γειτονικούς υποψηφίους και να ξεκινήσουν μια άμεση σύνδεση μεταξύ τους. Για να επιτευχθεί αυτό, οι συσκευές εκπέμπουν μεταξύ τους σήματα beacon για τη συλλογή πληροφοριών όπως απόσταση συσκευής, τοποθεσία, αναγνωριστικό συσκευής, κατάσταση καναλιού κ.λπ. Οι συσκευές χρησιμοποιούν τις συλλεγόμενες πληροφορίες για να αξιολογήσουν τον πιθανό σχηματισμό ζεύγους. Γενικά, η ανακάλυψη συσκευών στα δίκτυα D2D κατηγοριοποιείται σε δύο τύπους: την κεντρική και κατακεντρωμένη ανακάλυψη.

A. Κεντρική Ανακάλυψη: Σε αυτόν τον τύπο ανακάλυψης, οι συσκευές ανακαλύπτουν τις γειτονικές συσκευές με τη βοήθεια μιας κεντρικής μονάδας ή συνήθως του ΣΒ. Η συσκευή ειδοποιεί το ΣΒ σχετικά με την πρόθεσή της να επικοινωνήσει με συσκευές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Ο ΣΒ ξεκινά τη συνομιλία μεταξύ των συσκευών για την απόκτηση ζωτικών πληροφοριών όπως συνθήκες καναλιού, πολιτικές ελέγχου ισχύος και στάθμες παρεμβολών με βάση τις συνθήκες δικτύου. Η συμβολή του ΣΒ στην ανακάλυψη της συσκευής μπορεί να είναι μερική ή πλήρης με βάση το preconfiguration των πρωτοκόλλων [53].

Οι συσκευές δεν επιτρέπεται να ξεκινήσουν τη διαδικασία discovery στην περίπτωση πλήρους εμπλοκής του ΣΒ. Ο ΣΒ οργανώνει κάθε μήνυμα μεταξύ συσκευών. Οι συσκευές «ακούν» τα μηνύματα που μεταδίδονται από το ΣΒ και στέλνουν μηνύματα στο ΣΒ για να ξεκινήσουν τη διαδικασία ανακάλυψης. Στην περίπτωση της μερικής εμπλοκής του ΣΒ, οι συσκευές ανταλλάσσουν μηνύματα μεταξύ τους για ανακάλυψη συσκευής χωρίς να απαιτείται έγκριση από τον ΣΒ.



Εικόνα 24: Κεντρική ανακάλυψη συσκευής: (α) Μερική εμπλοκή του ΣΒ, (β) Πλήρης εμπλοκή του ΣΒ

B. Κατανεμημένη Ανακάλυψη: Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στις συσκευές να ανιχνεύουν η μία την άλλη από μόνες τους χωρίς τη συμμετοχή του ΣΒ. Οι συσκευές εκπέμπουν μηνύματα ελέγχου περιοδικά για να βρουν άλλες γειτονικές συσκευές. Οι χρήστες που αναζητούν έναν peer, κάνουν broadcast την ταυτότητα τους περιοδικά, έτσι ώστε άλλοι χρήστες που βρίσκονται κοντά να μπορούν να αναγνωρίζουν την παρουσία τους και να αποφασίζουν αν θα ολοκληρώσουν μια επικοινωνία D2D. Ωστόσο, λόγω της έλλειψης συγχρονισμού, ο δέκτης πρέπει πάντα να παρακολουθεί το κανάλι για να μην χάνει τα σήματα εντοπισμού από τους πομπούς. Αυτή η συνεχής παρακολούθηση γίνεται ένα σημαντικό ζήτημα όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, επειδή η φάση ακρόασης μπορεί να εξαντλήσει σημαντικά την μπαταρία των κινητών συσκευών. Άλλα ζητήματα που εμφανίζονται στην κατανεμημένη λειτουργία είναι ο συγχρονισμός και οι παρεμβολές.

4.3 Mode Selection

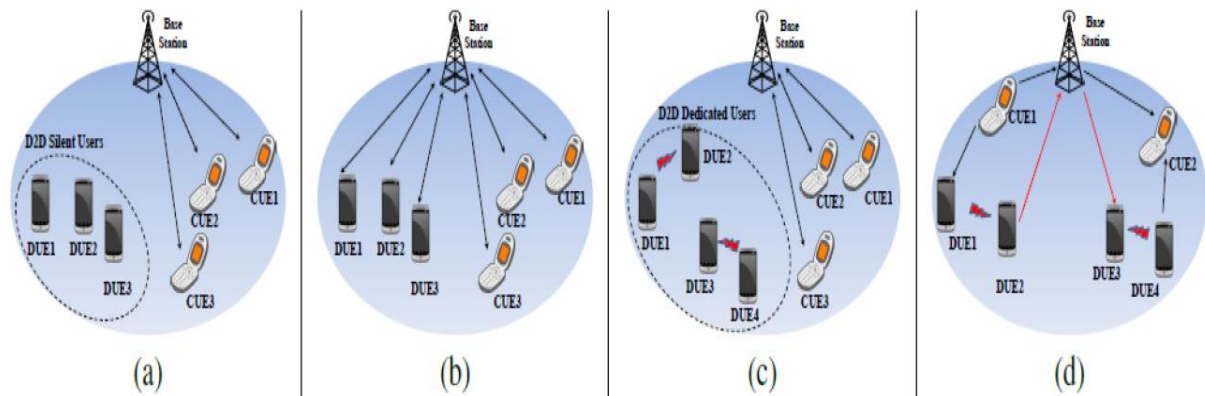
Στις επικοινωνίες D2D, οι UE επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους ή/και με το ΣΒ. Αυτή η ικανότητα αυξάνει σημαντικά την απόδοση του δικτύου όσον αφορά το latency και throughput. Ωστόσο, οδηγεί σε νέα ζητήματα σχεδιασμού, όπως η διαχείριση πόρων και η υπερφόρτωση του δικτύου. Επιπλέον, οι συνδεδεμένες συσκευές μπορούν να λειτουργούν με τον ίδιο ή με διαφορετικό τρόπο λειτουργίας (ή ακόμα και σε υβριδική λειτουργία), γεγονός που περιπλέκει τη διαχείριση του δικτύου.

Το δίλημμα για το εάν ένα ζεύγος πομπού-δέκτη θα πρέπει να χρησιμοποιεί τη λειτουργία D2D ή την cellular λειτουργία είναι γνωστό ως πρόβλημα επιλογής τρόπου λειτουργίας (mode selection). Κάποια ζητήματα σχεδιασμού που σχετίζονται με το πρόβλημα mode selection περιλαμβάνουν:

- Επιλογή του μέτρου απόδοσης που θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε
- Πληροφορίες κατάστασης καναλιού(CSI) που χρειάζονται
- Συχνότητα ενημέρωσης αυτών των πληροφοριών.
- Συχνότητα που θα ενημερώνεται το mode των χρηστών

Από τη μία πλευρά, η χρονική κλίμακα για την επιλογή τρόπου λειτουργίας δεν μπορεί να είναι πολύ μεγάλη επειδή το ασύρματο κανάλι μπορεί να αλλάξει γρήγορα, καθιστώντας τις επιλεγμένες λειτουργίες ανεπαρκείς. Από την άλλη, προσαρμόζοντας τον τρόπο επικοινωνίας στις εναλλαγές του καναλιού μπορεί να μην είναι τόσο πρακτικό και να καταλήξει δαπανηρό λόγω του αυξημένου overhead σηματοδότησης. Τέλος, για να αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητες της επικοινωνίας D2D, ειδικά στην περίπτωση του κοινόχρηστου διαύλου όπου οι παρεμβολές μπορεί να γίνουν πρόβλημα, ο τρόπος επικοινωνίας ενός πομπού θα πρέπει να επιλέγεται από κοινού με τους πόρους του ασύρματου δικτύου (π.χ. ισχύς και συχνότητα των καναλιών) λόγω των αμοιβαίων επιπτώσεων που έχουν το ένα στο άλλο.

Γενικά, οι συσκευές μπορούν να επιλέξουν έναν τρόπο επικοινωνίας από τους τέσσερις παρακάτω τρόπους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 25:



Εικόνα 25: Τρόποι επικοινωνίας σε δίκτυα D2D (α)Απολύτως cellular λειτουργία (β)Μερικώς cellular λειτουργία (c)Αποκλειστική λειτουργία (d)Underlay λειτουργία.

- a. **Απολύτως cellular λειτουργία:** Σε περίπτωση που η διαθεσιμότητα των πόρων είναι μικρή και οι παρεμβολές είναι υψηλές, γεγονός που οδηγεί σε διακοπή όλων των επικοινωνιών D2D, μόνο η απολύτως cellular λειτουργία υιοθετείται από τις συσκευές. Σε αυτήν τη λειτουργία, δεν υπάρχει επικοινωνία D2D.
- b. **Μερικώς cellular λειτουργία :** Σε αυτήν τη λειτουργία, δύο συσκευές μπορούν να διασυνδεθούν μέσω του ΣΒ χωρίς κοινή χρήση φάσματος.
- c. **Αποκλειστική λειτουργία :** Αυτή η λειτουργία σημαίνει ότι οι συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω αποκλειστικών καναλιών φάσματος.
- d. **Underlay λειτουργία :** Αυτή η λειτουργία επιτρέπει στους χρήστες D2D να μοιράζονται τους πόρους Uplink και Downlink της κινητής.

Η επιλογή βέλτιστου τρόπου λειτουργίας εξαρτάται από το μέτρο απόδοσης που πρέπει να βελτιστοποιηθεί (π.χ. ρυθμός δεδομένων, ισχύς μετάδοσης, κατανάλωση ενέργειας) και στις διαθέσιμες πληροφορίες που είναι διαθέσιμες κατά τη λήψη της απόφασης (π.χ. φυσική απόσταση μεταξύ των χρηστών, ποιότητα διαύλου των συνδέσεων, το επίπεδο παρεμβολής). Οι απλούστεροι και πιο εύχρηστοι αλγόριθμοι mode selection βασίζουν την απόφασή τους στο path loss, το οποίο σχετίζεται άμεσα με τη φυσική απόσταση μεταξύ των κόμβων. Στο [48], για παράδειγμα, η λειτουργία D2D ενεργοποιείται εάν το path loss της άμεσης σύνδεσης D2D είναι μικρότερο από ένα δεδομένο όριο. Μια προσέγγιση mode selection που λογαριάζει για το path loss τόσο της D2D όσο και της cellular σύνδεσης προτείνεται στο [49]. Εδώ, η λειτουργία D2D προτιμάται εάν η αναλογία των δύο path loss είναι κάτω από ένα δεδομένο

κατώφλι, το οποίο εξαρτάται από την επιθυμητή εκφόρτωση(offload) κίνησης από το ΣΒ (όσο μεγαλύτερο είναι το όριο, τόσα περισσότερα ζεύγη χρηστών αναγκάζονται να επικοινωνήσουν με συνδέσεις D2D).

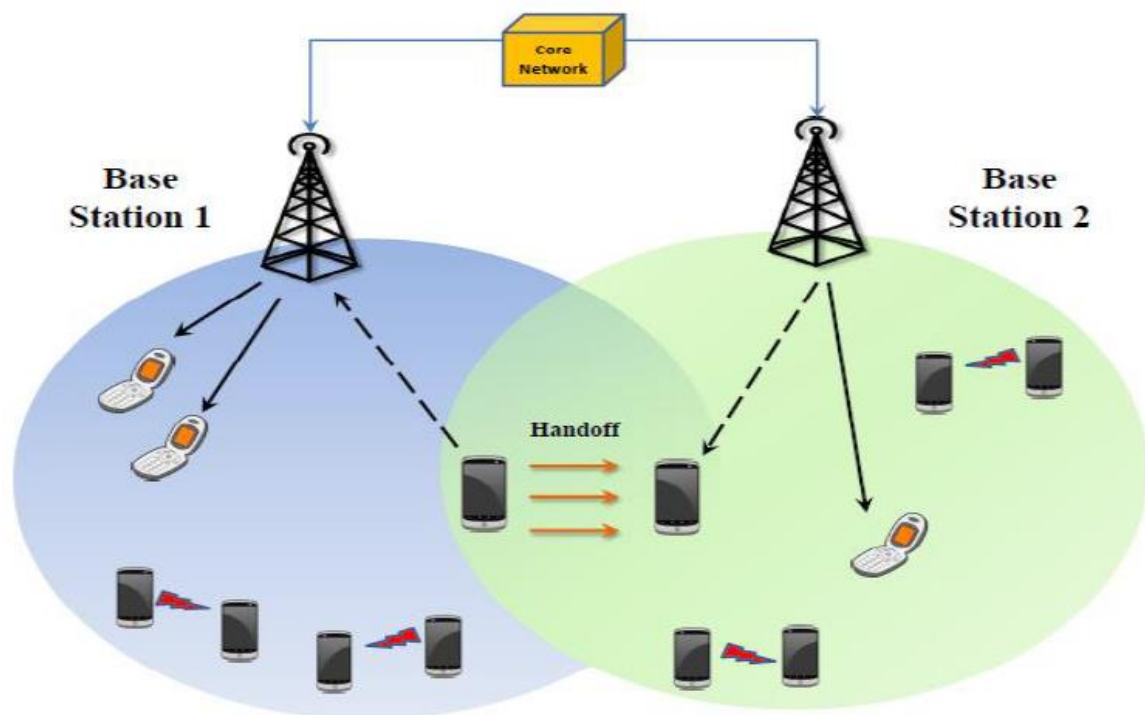
Το πρόβλημα επιλογής τρόπου λειτουργίας γίνεται πιο σύνθετο όχι μόνο λόγω των πρόσθετων παρεμβολών που δέχεται κάθε δέκτης από γειτονικές κυψέλες, αλλά και επειδή η απόφαση τρόπου επικοινωνίας μπορεί να περιλαμβάνει τη συσχέτιση χρήστη με ΣΒ. Αυτό το σύνθετο πρόβλημα επιλογής τρόπου λειτουργίας και συσχέτισης ΣΒ έχει εξεταστεί στο [35], όπου ο μελετητής στοχεύει στη μεγιστοποίηση του SINR στους δέκτες, περιορίζοντας τον μέγιστο αριθμό χρηστών που μπορεί να υποστηρίξει κάθε ΣΒ.

Στις περισσότερες από τις υπάρχουσες έρευνες, οι αλγόριθμοι επιλογής τρόπου λειτουργίας είτε απαιτούν το global CSI στον κεντρικό κόμβο διαχείρισης (π.χ. στον Σ.Β.), ή θεωρούν ότι υπάρχει κάποιος μηχανισμός σηματοδότησης για να επιτραπεί η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των συσκευών [36]. Σε αυτή την έρευνα το πρόβλημα επιλογής τρόπου λειτουργίας επιλύεται με κατανεμημένο τρόπο και μόνο με τοπικές πληροφορίες που συγκεντρώνονται σε κάθε πομπό. Τα κύρια ζητήματα σχεδιασμού που προβληματίσαν τους μελετητές ήταν οι πληροφορίες διαύλου που χρειάζονται, και σε ποια συχνότητα θα πρέπει να ενημερώνεται ο τρόπος επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών. Συγκεκριμένα το χρονοδιάγραμμα για την επιλογή τρόπου λειτουργίας δεν μπορεί να είναι πολύ αραιό επειδή ο ασύρματος δίαυλος μπορεί να αλλάξει γρήγορα. Από την άλλη το overhead σηματοδότησης από τη γρήγορη εναλλαγή τρόπου επικοινωνίας θα πρέπει να περιοριστεί στο ελάχιστο.

4.4 Διαχείριση Κινητικότητας

Δεδομένου ότι οι περισσότεροι χρήστες κινούνται ενώ επικοινωνούν, η τεχνολογία D2D χρειάζεται έναν αποτελεσματικό διαχειριστή κινητικότητας για να αποφευχθεί η διατάραξη της συνδεσιμότητας των mobile χρηστών. Ως εκ τούτου, απαιτείται να υπάρχει ένας μηχανισμός που να ελέγχει την επικοινωνία ενώ ο εξοπλισμός χρήστη (UE) είναι κινητός. Η αξιολόγηση των μοτίβων κίνησης των UE και της επίδρασής τους στην αξιοπιστία της επικοινωνίας είναι μια σημαντική πρόκληση. Η διαχείριση κινητικότητας περιλαμβάνει δύο λειτουργίες και συγκεκριμένα, διαχείριση μεταβίβασης(handoff) και διαχείριση τοποθεσίας [28].

Η διαχείριση τοποθεσίας επιτρέπει στο δίκτυο να ανακαλύψει τα σημεία σύνδεσης του UE μέσω διαδοχικών επικοινωνιών καθώς περιφέρονται παντού στα δίκτυα. Η διαχείριση μεταβίβασης (handoff) επιτρέπει στο δίκτυο να διατηρεί τη συνδεσιμότητα των χρηστών ενώ αυτοί αλλάζουν από το ένα σημείο σύνδεσης στο άλλο, όπως φαίνεται στην εικόνα 26.



Εικόνα 26: Τυπικό σενάριο μεταβίβασης(handoff) στην επικοινωνία D2D

4.5 Διαχείριση πόρων

Πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την επιλογή τρόπου λειτουργίας(mode selection). Η αποτελεσματική διαχείριση των πόρων επιτυγχάνει μετριασμό των παρεμβολών, διατήρηση ισχύος και αύξηση της απόδοσης. Η κατανάλωση ενέργειας και ο μετριασμός των παρεμβολών σχετίζονται με το θέμα της διαχείρισης πόρων. Παρουσιάζουμε συνοπτικά αυτά τα θέματα σε αυτή την ενότητα.

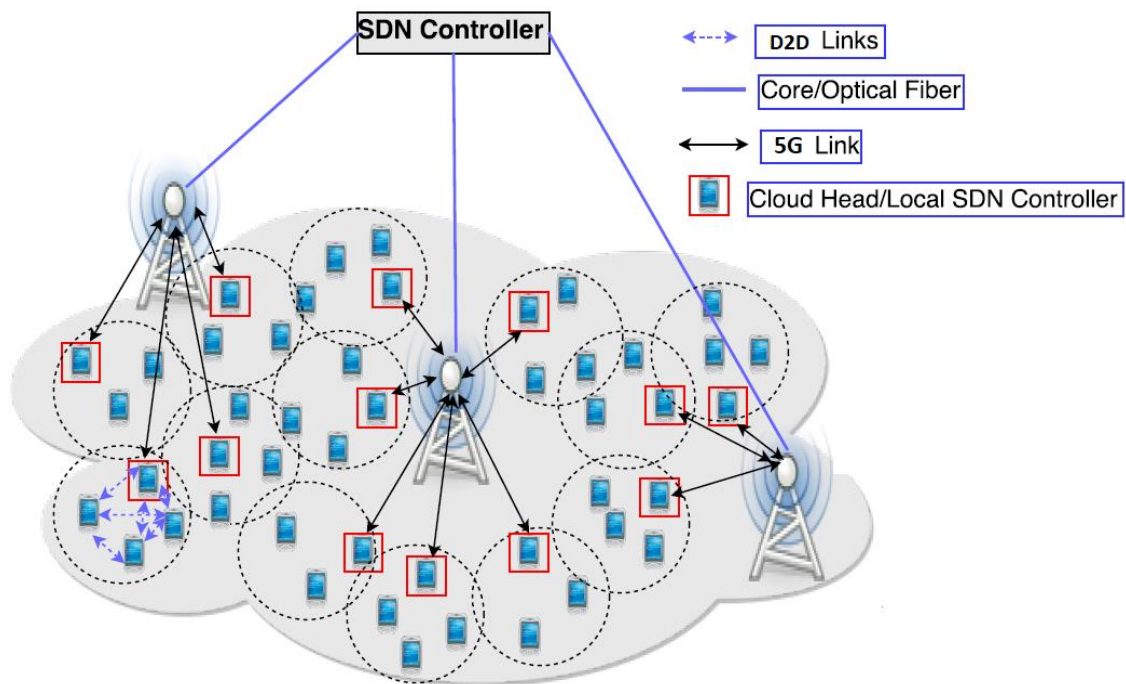
A. Διαχείριση παρεμβολών

Η επαρκής κατανομή του φάσματος είναι πολύ σημαντική για τη διατήρηση του απαραίτητου επιπέδου QoS. Με την εισαγωγή της επικοινωνίας D2D στα κυψελωτά δίκτυα, η πρόκληση των παρεμβολών εξελίσσεται σε πιο περίπλοκο ζήτημα. Τα κυψελωτά δίκτυα στο μέλλον θα ενσωματώσουν πολλές ετερογενείς συσκευές και θα αναπτυχθούν τα εξαιρετικά πυκνά δίκτυα (UDN) μικρών και/ή macro κυψελών, καθιστώντας έτσι τη διαχείριση παρεμβολών πιο δύσκολη και πιο κρίσιμη [30]. Με την ενσωμάτωση της επικοινωνίας D2D, η αρχιτεκτονική των κυψελοειδών δικτύων έχει εξελιχθεί σε ένα σύστημα δύο επιπέδων. Ένα κυψελοειδές δίκτυο δύο επιπέδων αποτελείται από ένα επίπεδο συσκευών και ένα επίπεδο κυψελών.

Το επίπεδο συσκευών περιλαμβάνει συνδέσεις D2D και το επίπεδο των κυψελών περιλαμβάνει τις συνδέσεις των χρηστών προς τον σταθμό βάσης. Δύο είδη παρεμβολών μπορούν να συμβούν στη υλοποίηση δύο επιπέδων: Οι παρεμβολές στο ίδιο επίπεδο(co-tier) και οι παρεμβολές μεταξύ επιπέδων(cross-tier). Η παρεμβολή co-tier συμβαίνει σε περίπτωση που ένα μπλοκ πόρων εκχωρείται σε περισσότερους από έναν χρήστες D2D στο ίδιο επίπεδο δικτύου. Από την άλλη η cross-tier παρεμβολή συμβαίνει μεταξύ των χρηστών D2D και των

cellular χρηστών και εμφανίζεται σε περίπτωση που ο χρήστης D2D (ένας ή πολλοί) μοιράζεται ένα μπλοκ πόρων που έχει εκχωρηθεί σε CU. Διάφορες μέθοδοι μετριάσμου παρεμβολών μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία, αυτές οι προτεινόμενες προσεγγίσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε κεντρικές, ημι-κατανεμημένες και κατανεμημένες.

- Στις κεντρικές μεθόδους, ο ΣΒ(ένας κεντρικός controller) είναι υπεύθυνος για την εκχώρηση πόρων σε χρήστες D2D και cellular, ενώ παρατηρεί τις μετρήσεις της κυψέλης σχετικά με τις πληροφορίες κατάστασης καναλιού(CSI), το SNR, και το επίπεδο παρεμβολών των χρηστών. Ωστόσο, η πολυπλοκότητα των κεντρικών μεθόδων αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των χρηστών, καθώς μια και μόνο οντότητα υποχρεούται να συλλέξει και να επεξεργαστεί τεράστιους όγκους πληροφοριών. Κατά συνέπεια, μια κεντρική μέθοδος είναι πιο κατάλληλη για δίκτυα μικρού μεγέθους.
- Η κατανεμημένη μέθοδος δεν απαιτεί κάποια κεντρική οντότητα και οι χρήστες μοιράζονται το κανάλι που έχει εκχωρηθεί σε χρήστες κινητής. Αυτή η μέθοδος απαιτεί συχνή ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ γειτονικών χρηστών D2D. Αυτή η μέθοδος υποχρεώνει επίσης τους χρήστες D2D να «ακούν» ασταμάτητα τις ραδιοσυχνότητες για να συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με τα μπλοκ ελεύθερων πόρων και την ποιότητα των καναλιών, γεγονός που οδηγεί σε τεράστια κατανάλωση ενέργειας από τις συσκευές. Η κατανεμημένη μέθοδος ταιριάζει στα μεγαλύτερα δίκτυα, αλλά περιλαμβάνει σύνθετους αλγόριθμους αποτροπής παρεμβολών για την εγγύηση υψηλής ποιότητας επικοινωνίας για τους cellular χρήστες παράλληλα με αξιόπιστη επικοινωνία για τους χρήστες D2D.
- Η ημι-κατανεμημένη μέθοδος αποτελείται από μια υβριδική προσέγγιση όπου η διαχείριση των παρεμβολών ολοκληρώνεται σε διαφορετικά επίπεδα δικτύου. Αυτές οι μέθοδοι επικεντρώνονται στη μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας και του overhead σηματοδοσίας του ΣΒ. Η παρεμβολή D2D μεταξύ διαφορετικών κυψελών(inter-cell) είναι ένα επιπλέον σημαντικό πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί.



Εικόνα 27: Ένα μοντέλο D2D που βασίζεται σε controller SDN

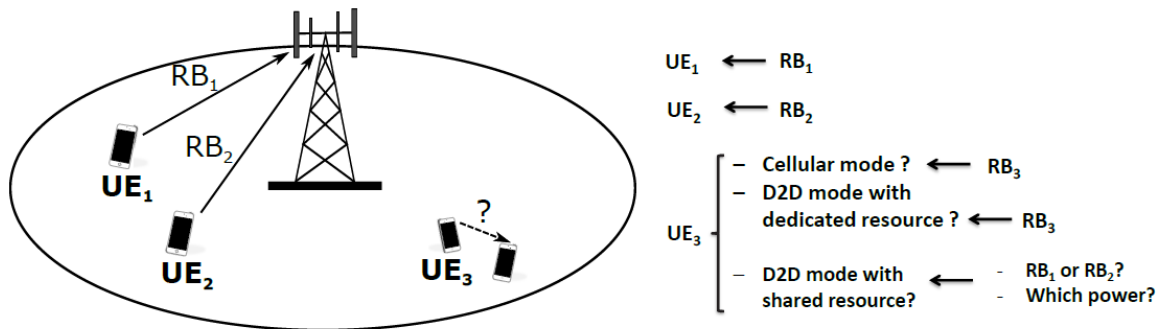
B. Έλεγχος ισχύος

Η διαδικασία της ρύθμισης ισχύος του ΣΒ κατά τη διάρκεια DL συνδέσεων και των χρηστών κατά τη διάρκεια UL συνδέσεων προσδιορίζεται ως έλεγχος ισχύος. Όσο πιο υψηλή είναι η ισχύς μετάδοσης των χρηστών, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η χωρητικότητα της σύνδεσης, ωστόσο αυξάνονται και οι παρεμβολές μεταξύ συσκευών που χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους.

Στη γενιά κινητών τηλεπικοινωνιών τεχνολογίας 3G, ο έλεγχος ισχύος UPLINK ήταν ένα κρίσιμο στοιχείο, ειδικά για τη διαχείρισή του near-far προβλήματος. Αυτό οφείλεται στο ότι οι ταυτόχρονες ζεύξεις με το ΣΒ ήταν μη ορθογώνιες και η εκπέμπουσα υψηλή ισχύς που μεταδιδόταν από χρήστες κοντά στο ΣΒ (συνήθως στο το κέντρο της κυψέλης) θα μπορούσαν να κατακλύσουν τις αδύναμες μεταδόσεις που προέρχονται από την άκρη της κυψέλης. Στα 4G συστήματα, οι intra-cell παρεμβολές δεν είναι πρόβλημα επειδή οι UPLINK μεταδόσεις είναι κατανομημένες σε ορθογώνιους πόρους. Ο μηχανισμός ελέγχου ισχύος αντισταθμίζει κυρίως το path loss και το shadowing με αργούς ρυθμούς. Επίσης οι διαδικασίες γρήγορου scheduling αναλαμβάνουν το ρόλο του ελέγχου ισχύος για την αύξηση του ρυθμού δεδομένων στον χρήστη.

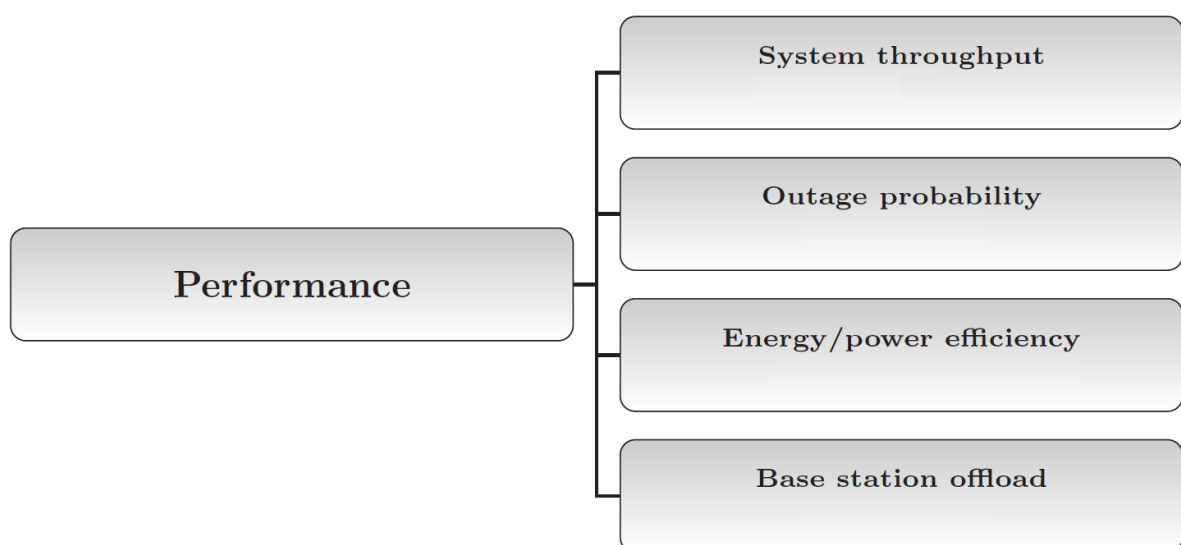
Στα συστήματα 5G, η εισαγωγή της επικοινωνίας D2D με επαναχρησιμοποίηση του φάσματος μπορεί να επαναπροσδιορίσει τη σημασία του ελέγχου ισχύος. Αυτό το αναφέρουμε λόγω των δυνατοτήτων του 5G να διαχειρίζεται τις ενδοκυψελικές παρεμβολές που προκαλούνται από τις ζεύξεις D2D και να μειώνει την κατανάλωση ενέργειας των συνδέσεων μικρής εμβέλειας,

επεκτείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής των κινητών συσκευών. Οι προσεγγίσεις ελέγχου ισχύος συμβάλλουν στη διατήρηση των ενεργειακών πόρων. Η κοινή βελτιστοποίηση της κατανομής καναλιών και του ελέγχου ισχύος παίζουν καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της χωρητικότητας και της απόδοσης των δικτύων. Η εικόνα 28 απεικονίζει την αλληλεπίδραση της επιλογής τρόπου λειτουργίας (mode selection), του ελέγχου ισχύος και της κατανομής πόρων σε ένα απλό σενάριο.



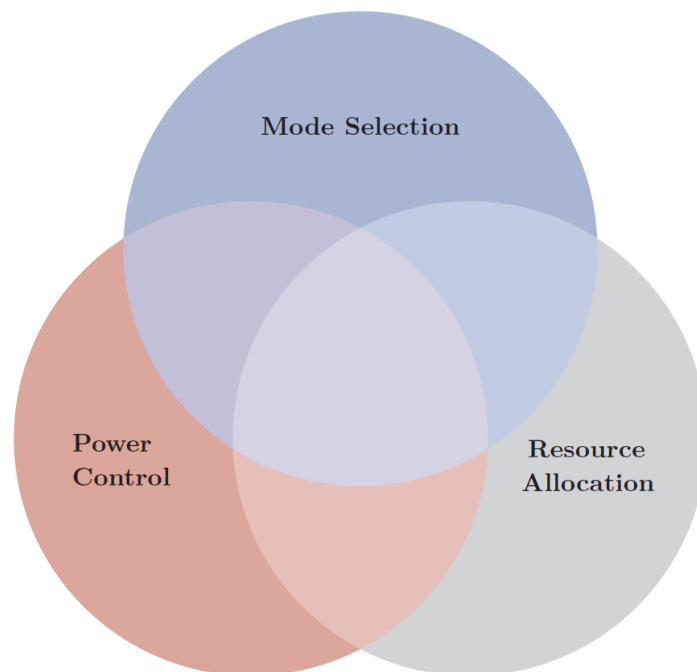
Εικόνα 28: Σενάριο αλληλεπίδρασης της επιλογής τρόπου λειτουργίας (mode selection), του ελέγχου ισχύος και της κατανομής πόρων.

Σε αυτό το παράδειγμα, πρέπει να γίνει η επιλογή τρόπου λειτουργίας για τον πομπό UE₃, υποθέτοντας ότι οι χρήστες cellular χρήστες UE₁ και UE₂ χρησιμοποιούν ήδη το RB₁ (Radio Band) και RB₂, αντίστοιχα. Η επιλογής τρόπου λειτουργίας θα πρέπει να γίνει μεταξύ τριών πιθανών λειτουργιών για τον UE₃: λειτουργία cellular, λειτουργία D2D με αποκλειστικούς πόρους ή λειτουργία D2D με κοινόχρηστους πόρους. Στην τελευταία περίπτωση, απαιτούνται κατάλληλες κατανομές πόρων και ισχύος για τον περιορισμό της αμοιβαία παρεμβολής μεταξύ των ζεύξεων που μοιράζονται το ίδιο RB.



Εικόνα 29: Βελτίωση απόδοσης βάσει τεχνικών διαχείρισης πόρων

Επομένως, οι τρεις βασικές αποφάσεις διαχείρισης πόρων για τα δίκτυα D2D θα πρέπει να λαμβάνονται από κοινού για να διασφαλίζεται η βέλτιστη απόδοση. Ωστόσο, οι κοινές βελτιστοποιήσεις μεθόδων είναι συνήθως υπολογιστικά δύσκολο να επιλυθούν και απαιτείται ευρεία γνώση του συστήματος (global CSI, θέση των χρηστών, κ.λπ.), η οποία είναι γενικά δαπανηρή και πολλές φορές μη πρακτικό να αποκτηθεί. Για το λόγο αυτό, πολλές έρευνες αναλύουν τα προβλήματα διαχείρισης πόρων μεμονωμένα ή μερικώς συνδυαστικά όπως απεικονίζεται στην εικόνα 30.



Εικόνα 30: Τα τρία κύρια προβλήματα διαχείρισης πόρων στην επικοινωνία D2D

4.6 Κατανομή πόρων χρόνου/συχνότητας

Η ανάθεση των πόρων χρόνου και συχνότητας στα δίκτυα κινητής είναι αρκετά σημαντική όχι μόνο για να εκμεταλλευτούμε την πιθανή διαφοροποίηση συχνοτήτων μεταξύ των καναλιών, αλλά και για να αυξήσουμε τη φασματική απόδοση με την κατάλληλη επαναχρησιμοποίηση πόρων. Όσον αφορά την επιλογή τρόπου λειτουργίας και τα προβλήματα κατανομής ισχύος, κάποιες στρατηγικές κατανομής πόρων βασίζονται σε αποφάσεις που εξαρτώνται από την απόσταση.

Για παράδειγμα, μελετητές του [43] προτείνουν να αποφευχθεί η συνύπαρξη στον ίδιο πόρο των cellular χρηστών και των D2D χρηστών όταν η φυσική τους απόσταση είναι πολύ κοντινή. Η εξέταση του προβλήματος επαναχρησιμοποίησης του φάσματος από μια προοπτική βελτιστοποίησης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση αλλά, συνήθως οδηγεί σε θετικά και αρνητικά αποτελέσματα. Όσο για την επιλογή τρόπου λειτουργίας και τον έλεγχο ισχύος, το πρόβλημα κατανομής πόρων έχει εξεταστεί σε πολλές έρευνες. Μία από τις

χρησιμοποιημένες προσεγγίσεις σε αυτό το δύσκολο σενάριο είναι η επαναχρησιμοποίηση κλασματικής συχνότητας. Η βασική ιδέα αυτής της τεχνικής είναι να χωρίσει την περιοχή των κυψελών σε πολλά τμήματα και να αναθέσει διαφορετικούς πόρους συχνότητας σε γειτονικές περιοχές για να μειωθούν οι παρεμβολές [44].

4.7 Μοντελοποίηση και ανάκτηση κατάστασης διαύλων.

Τα κανάλια ραδιοσυχνοτήτων D2D έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά διάδοσης σε σύγκριση με τα παραδοσιακά cellular κανάλια [39]. Κατ' αρχήν, στις επικοινωνίες D2D τόσο ο πομπός όσο και ο δέκτης έχουν χαμηλό ύψος κεραίας, που μεταφράζεται σε μεγαλύτερη αλληλεπίδραση με τερματικά κοντινών αποστάσεων. Αυτό είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό σε αστικές περιοχές, όταν οι συσκευές είναι σε δρόμους με κινούμενα αντικείμενα προκαλώντας σκίαση(shadowing), όπως αυτοκίνητα και φορτηγά. Από την άλλη, η επικοινωνία μικρής εμβέλειας των ζευγών D2D είναι πιθανό να δημιουργήσει line-of-sight (LoS) διάδοση σε ανοιχτό χώρο ή σε εσωτερικούς χώρους. Δεύτερον, και τα δύο τερματικά ενός D2D ζεύγους μπορεί να κινούνται, σε αντίθεση με την cellular επικοινωνία όπου ο σταθμός βάσης βρίσκεται σε σταθερή θέση. Αυτή η διπλή κινητικότητα απαιτεί την εισαγωγή νέου μοντέλου Doppler. Τέλος, οι ζεύξεις D2D μπορεί να λειτουργούν και στις mm-wave μπάντες. Οι εκπομπές σε αυτές τις συχνότητες έχουν άλλα χαρακτηριστικά διάδοσης που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Κατά το σχεδιασμό και την αξιολόγηση της απόδοσης δικτύων με δυνατότητα D2D, είναι σημαντικό όχι μόνο να μοντελοποιούμε σωστά τα κανάλια διάδοσης, αλλά και να έχουμε πρόσβαση στο CSI μεταξύ των φορητών συσκευών. Αυτό είναι πιο απαιτητικό έργο σε σχέση με τα συμβατικά κυψελωτά δίκτυα, όπου απαιτείται μόνο η γνώση του CSI μεταξύ των συσκευών και του σταθμού βάσης. Η συλλογή και πιθανή ανταλλαγή τέτοιων πληροφοριών μπορεί να προσθέσει αφόρητο overhead στο σύστημα. Η αντιστάθμιση μεταξύ της ακρίβειας του CSI και του overhead σηματοδότησης πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη στα δίκτυα με δυνατότητα D2D [12].

4.8 Χρήση φάσματος και διαχείριση παρεμβολών

Απόκτηση μεγαλύτερου licensed bandwidth αποτελεί σημαντικό κόστος για τους παρόχους. Για το λόγο αυτό, το διαθέσιμο φάσμα πρέπει να χρησιμοποιείται αποτελεσματικά μέσω κατάλληλων τεχνικών διαχείρισης παρεμβολών. Η διαχείριση παρεμβολών είναι ένα δύσκολο ζήτημα, ειδικά σε δίκτυα όπως τα D2D που επαναχρησιμοποιούν το cellular φάσμα. Σε αυτή την περίπτωση, η επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας μεταξύ χρηστών της ίδιας κυψέλης προσθέτει intra-cell παρεμβολές στις ήδη υπάρχουσες inter-cell παρεμβολές. Στην πραγματικότητα, η παρουσία συνδέσεων D2D μπορεί να επηρεάσει έντονα την απόδοση του συστήματος επειδή οι μεταδόσεις με παρεμβολές στα δίκτυα D2D μπορούν να προκληθούν

από οποιαδήποτε απόσταση. Αυτό διαφέρει από τα κλασικά κυψελωτά συστήματα, όπου οι χρήστες που παρεμβάλλονται μεταξύ τους βρίσκονται σε απόσταση στην ακτίνα της κυψέλης.

4.9 Εξισορρόπηση απόδοσης, υπολογιστικής πολυπλοκότητας και σηματοδοσίας

Η ανάπτυξη βέλτιστων αλγορίθμων κατανομής πόρων που λειτουργούν καί με χαμηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα αλλά και με περιορισμένο overhead της σηματοδοσίας είναι μεγάλη πρόκληση για τους ερευνητές. Σε πολλές περιπτώσεις, οι αλγόριθμοι για τις πολιτικές κατανομής πόρων απαιτούν την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης που πολλές φορές μπορεί να είναι συνδυαστικά. Αυτό μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρο, καθόλου επεκτάσιμο και επομένως μη διαχειρίσιμο σε πραγματικά συστήματα. Επιπλέον, οι βέλτιστες λύσεις συχνά απαιτούν το πλήρες CSI όλων των εμπλεκόμενων συνδέσεων ή/και την ανταλλαγή πολλών πληροφοριών μεταξύ των κόμβων/χρηστών. Αυτό μπορεί να είναι ανέφικτο λόγω του αντίστοιχου overhead σηματοδοσίας. Επομένως, αυτή η πρόκληση βασίζεται στην εύρεση ενός καλού συμβιβασμού μεταξύ της βελτίωσης και της εφαρμοσιμότητας, επιλέγοντας μεταξύ συνδυαστικής και ξεχωριστής κατανομής πόρων και μεταξύ κεντρικών και κατανεμημένων λύσεων. Υπάρχει μια συνεχής ερευνητική προσπάθεια τόσο στον ακαδημαϊκό χώρο όσο και στη βιομηχανία όσον αφορά την αντιμετώπιση αυτών και άλλων προκλήσεων για τα δίκτυα με δυνατότητα D2D, καθώς και για την ανάδειξη νέων ευκαιριών για τους παρόχους κινητής.

4.10 Uplink ή Downlink;

Στις κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες, το φάσμα που εκχωρείται για τα δίκτυα κινητής είναι licensed. Ένα από τα πλεονεκτήματα του licensed φάσματος είναι η ικανότητα του δικτύου να ελέγχει τις παρεμβολές και να εγγυάται ένα συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών για τους χρήστες. Οι cellular χρήστες είναι καλά προγραμματισμένοι σε χρόνο, συχνότητα και χώρο, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι παρεμβολές στο ίδιο επίπεδο ή μεταξύ επιπέδων.

Στα cellular δίκτυα η επικοινωνία γίνεται προς δύο κατευθύνσεις, δηλαδή το UPLINK (UL) και το DOWNLINK (DL). Στην κατεύθυνση UL ο εξοπλισμός cellular χρήστη (CUE) στέλνει τα δεδομένα του στο σταθμό βάσης (ΣΒ) ενώ στο DL, ο ΣΒ προωθεί τα δεδομένα στους προβλεπόμενους δέκτες. Οι DL και UL εκπομπές διαχωρίζονται σε χρόνο ή συχνότητα προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε αλληλεπίδραση. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των παρεμβολών και των ασύρματων πόρων στα κυψελωτά δίκτυα όσον αφορά τόσο το DL όσο και το UL έχουν εξελιχθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια. Όταν οι ζεύξεις D2D χρησιμοποιούν τους πόρους των cellular χρηστών με την underlay μέθοδο, τίθεται ένα φυσικό ερώτημα: ποιοι πόροι πρέπει να επαναχρησιμοποιηθούν για μεταδόσεις D2D, οι πόροι UL του cellular δικτύου ή οι πόροι DL; Πρακτικά, οι επικοινωνίες D2D μπορούν να

ενεργοποιηθούν είτε στο UL είτε στο DL του cellular δικτύου ή και στα δύο. Όμως τα χαρακτηριστικά και τα θύματα των παρεμβολών είναι διαφορετικά σε κάθε περίπτωση. Για παράδειγμα, στο UL, ο ΣΒ υποφέρει από παρεμβολές χρηστών D2D, αλλά με τη χρήση τεχνικών προηγμένης επεξεργασίας σήματος στο ΣΒ, μπορεί να επιτευχθεί μείωση τους έως ένα βαθμό. Ταυτόχρονα, η μετάδοση από τους CUEs μπορεί να προκαλέσει σοβαρές παρεμβολές στους χρήστες D2D, εάν βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Στην περίπτωση του DL, η μετάδοση από το ΣΒ έχει μεγάλο αντίκτυπο στους χρήστες D2D και ταυτόχρονα οι συνδέσεις D2D παρεμβάλλουν στη λήψη των CUEs. Οι περισσότερες μελέτες εξετάζουν τις ζεύξεις D2D στο UL αφού υπάρχουν ορισμένοι κανονιστικοί περιορισμοί σε ορισμένες περιοχές για την επαναχρησιμοποίηση των πόρων DL [46]. Αναλυτικά, ωστόσο, είναι συχνά πιο εύκολο να χειριστεί κανείς το σενάριο DL από το UL λόγω των εξαρτήσεων μεταξύ της κατανομής παρεμβολών και της τοποθεσίας χρήστη.

4.11 Τιμολόγηση

Εκτός από τις τεχνικές προκλήσεις που συνοψίζονται στις προηγούμενες ενότητες, ένας πονοκέφαλος που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι πάροχοι είναι ο τρόπος με τον οποίο ελέγχουν και χρεώνουν τις D2D υπηρεσίες. Είναι πιθανό για κάποιους χρήστες, αν χρεώνονται για τις υπηρεσίες D2D, να στραφούν σε παραδοσιακές τεχνολογίες D2D, οι οποίες είναι δωρεάν αλλά έχουν χαμηλότερες ταχύτητες και μηδαμινή ασφάλεια. Ως εκ τούτου, οι πάροχοι πρέπει πρώτα να απαντήσουν στην ερώτηση «pay for what» πριν ξεκινήσουν να προωθούν την «ελεγχόμενη από πάροχο» τεχνολογία D2D, η οποία απαιτεί εκτενή ανάλυση περιπτώσεων χρήσης και επιχειρηματικών μοντέλων.

Συσκευές που λειτουργούν ως αναμεταδότες για άλλους χρήστες χρησιμοποιούν τους δικούς τους πόρους όπως μπαταρία, αποθηκευτικό χώρο, και bandwidth. Επομένως, θα πρέπει να αναπτυχθούν μοντέλα τιμολόγησης για να δελεάσουν του χρήστες να συμμετέχουν σε αυτό το είδος επικοινωνίας. Επί πλέον, στην άμεση επικοινωνία D2D, οι συσκευές απαιτείται να έχουν ένα ασφαλές περιβάλλον για τη διαδικασία πώλησης και αγοράς πόρων μεταξύ τους. Ο πάροχος μπορεί δημιουργήσει και να ελέγξει ένα ασφαλές περιβάλλον για αυτού του είδους τη διαδικασία. Επομένως, μπορεί να περιμένει κάποια πληρωμή από τους χρήστες για την ασφάλεια και το QoS στην επικοινωνία D2D.

Μια καλή ιδέα για τον πάροχο θα ήταν να προσφέρει κάποιες εκπτώσεις σε μηνιαίους λογαριασμούς με βάση τον όγκο των δεδομένων που αναμεταδίδουν μέσω των συσκευών τους. Η παροχή τέτοιων εκπτώσεων είναι λογική από την πλευρά του παρόχου, επειδή επωφελείται από την παροχή υπηρεσιών σε συσκευές με έλλειψη κάλυψης ή με απαιτητικούς ρυθμούς δεδομένων υψηλότερους από τους διαθέσιμους στο επίπεδο macrocell. Ένα άλλο πιθανό κίνητρο για την συσκευή αναμετάδοσης θα ήταν αντί για έκπτωση στο μηνιαίο λογαριασμό, ο πάροχος να μπορεί να προσφέρει μερικές δωρεάν υπηρεσίες σε αντάλλαγμα για τον όγκο των δεδομένων που αναμεταδίδουν.

Στην **αποκλειστική λειτουργία D2D** δεδομένου ότι ο πάροχος δεν έχει κανέναν έλεγχο σε αυτόν τον τρόπο επικοινωνίας δεν θα έπρεπε να περιμένει κάποιο κέρδος. Από τη στιγμή που οι συσκευές γνωρίζονται μεταξύ τους με διαφορετικούς τρόπους, όπως έπειτα από δημιουργία relationships ή ως μέλη μιας ομάδας ή οργανισμού, μπορούν να συμφωνήσουν σε ένα σύστημα τιμολόγησης ή απλά να αναμεταδώσουν τις πληροφορίες χωρίς να περιμένουν οποιοδήποτε αντίτιμο από άλλες συσκευές. Θα έχουν μία παρόμοια λειτουργία δηλαδή με την περίπτωση ενός χρήστη που στέλνει ένα αρχείο στον φίλο του χρησιμοποιώντας Bluetooth ή WiFi.

4.12 D2D SECURITY

Παρά όλα τα πιθανά οφέλη, η επικοινωνία D2D αντιμετωπίζει πολλές απειλές για την ασφάλεια. Οι συνδέσεις D2D αποτελούνται από έναν υβριδικό σχεδιασμό όπου τόσο οι κεντρικές όσο και οι κατακευκτικές προσεγγίσεις συνδέονται μεταξύ τους. Κατά συνέπεια, αντιμετωπίζουν τις ίδιες απειλές όσον αφορά την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια που αντιμετωπίζουν τόσο τα ad-hoc όσο και τα κυψελωτά δίκτυα. Η επικοινωνία D2D απειλείται από πολλά ζητήματα ασφάλειας σε σχέση με την ταυτότητα, την ακεραιότητα, την εμπιστευτικότητα και τη διαθεσιμότητα (CIA). Ως εκ τούτου, οι ζεύξεις D2D απαιτούν μια αποτελεσματική λύση ασφάλειας για να εγγυηθεί μια ιδιωτική, ασφαλής και αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του κυψελωτού δικτύου και των συσκευών, αλλά και για να είναι εφικτή και ασφαλής άμεση επικοινωνία γειτονικών συσκευών χωρίς καμία υποστήριξη από το κυψελωμένο δίκτυο. Για παράδειγμα, σε ένα smart home περιβάλλον, ένας κακόβουλος χρήστης μπορεί να προσποιηθεί ότι είναι ένα έξυπνο τερματικό, στο οποίο συνδέονται όλες οι έξυπνες συσκευές σε λειτουργία D2D, και δυνητικά μπορεί να αναλάβει τον έλεγχο όλων των συσκευών. Ομοίως, ένας χρήστης που χρησιμοποιεί μέσα κοινωνικής δικτύωσης με βάση την απόσταση μπορεί ενδεχομένως να συνδεθεί με έναν κακόβουλο χρήστη, ο οποίος με τη σειρά του μπορεί να πάρει τον έλεγχο της UE του χρήστη και να υποκλέψει προσωπικές πληροφορίες. Αυτό απαιτεί έναν αποτελεσματικό μηχανισμό για τον έλεγχο της ασφάλειας και του κοινωνικού status του UE πριν ολοκληρωθεί οποιαδήποτε σύνδεση D2D. Θα πρέπει να λειτουργούν συνδυαστικά πολλαπλοί αμυντικοί μηχανισμοί για τον έλεγχο των θεμάτων ασφάλειας.

Απειλές για την ασφάλεια

Η τηλεπικοινωνιακή φύση της D2D επικοινωνίας εισάγει διάφορες απειλές για την ασφάλεια [59]. Οι κύριες απειλές είναι οι εξής:

Eavesdropping

Ένας εισβολέας ακούει παθητικά το κανάλι μεταξύ των συσκευών UE για να λάβει ευαίσθητα δεδομένα. Σε μια κατάσταση αναμετάδοσης όπως κάποιες φορές συμβαίνει με τις D2D ζεύξεις, ο κόμβος αναμετάδοσης μπορεί να θεωρηθεί ως ένας eavesdropper από τον οποίο τα δεδομένα πρέπει να αποκρύπτονται, παρόλο που είναι απαραίτητος για τη μετάδοση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κρυπτογράφηση για να αντιμετωπιστεί αυτή η απειλή. Μια άλλη τεχνική μετριασμού είναι η δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών, όπου η επιλογή paths χωρίς παρεμβολές και η αποστολή διαφορετικών τμημάτων ενός μηνύματος σε διαφορετικές διαδρομές μπορεί να αποτρέψει την ικανότητα ενός μεμονωμένου κόμβου να κρυφακούει μια μετάδοση

Επίθεση Man-in-the-Middle

Οι πληροφορίες για τους κόμβους που έχουν συνδεθεί πρόσφατα σε ένα δίκτυο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της τοποθεσίας ενός χρήστη. Ο ίδιος ο κόμβος που κάνει authentication μπορεί να λειτουργήσει ως man-in-the-middle και μπορεί να χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες που αποκτήθηκαν από το authentication για να μάθει την ακριβή θέση της συσκευής UE.

Jamming

Μια ιδιότητα των δικτύων 5G είναι η ευκαιριακή πρόσβαση στο φάσμα, που σημαίνει ότι οι δευτερεύοντες χρήστες αντιλαμβάνονται τις κενές θέσεις του φάσματος και χρησιμοποιούν αυτό το φάσμα χωρίς να παρεμβαίνουν στους κύριους χρήστες του. Μια αρνητική συνέπεια αυτής της λειτουργίας είναι ότι οι συχνότητες υπόκεινται σε εμπλοκή(jamming). Το Jamming είναι η κακόβουλη εισαγωγή θορύβου ή σημάτων σε ένα κανάλι προκειμένου να αποτραπεί η χρήση του καναλιού.

Impersonate attack

Ένας εισβολέας μπορεί να προσποιηθεί ότι είναι μια νόμιμη συσκευή UE ή eNB για να αποκτήσει πρόσβαση στα δεδομένα κίνησης. Το authentication θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για την αντιστάθμιση αυτής της απειλής.

Forge attack

Ένας εισβολέας μπορεί να πλαστογραφήσει ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο και να στείλει πλαστά δεδομένα σε UEs, γεγονός που μπορεί να βλάψει το σύστημα. Ο έλεγχος ακεραιότητας με χρήση hash functions και ψηφιακών υπογραφών θα πρέπει να εξεταστεί για να αντιμετωπιστεί αυτού του είδους η επίθεση.

Free-riding

Για να μειωθεί η διαθεσιμότητα του συστήματος στην επικοινωνία D2D, ένας εισβολέας μπορεί να χειραγωγήσει την προκαθορισμένη συμπεριφορά των συσκευών για εξοικονόμηση της κατανάλωσης ενέργειας, ώστε να μην είναι πρόθυμοι να στείλουν περιεχόμενο σε άλλους

ενώ λαμβάνουν τα απαιτητικά δεδομένα από τους υπόλοιπους peers. Αυτή η ευπάθεια μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα της εμπειρίας των χρηστών, κάτι που μπορεί να εμποδίσει την υιοθέτηση των επικοινωνιών D2D.

Ενεργή επίθεση σε δεδομένα ελέγχου

Ένας εισβολέας προσπαθεί να αλλάξει τα δεδομένα ελέγχου. Το authentication, η εμπιστευτικότητα και η ακεραιότητα που χρησιμοποιούν προσεγγίσεις κρυπτογραφίας μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτήν την απειλή.

Παραβίαση απορρήτου

Ορισμένα ευαίσθητα ως προς το απόρρητο δεδομένα, όπως η ταυτότητα, η τοποθεσία, κ.λπ. Χρησιμοποιούνται καθόλη τη διάρκεια της επικοινωνίας στις υπηρεσίες D2D, επομένως αυτές οι προσωπικές πληροφορίες πρέπει να αποκρύπτονται σε μη εξουσιοδοτημένα μέρη.

Denial-of-service (DoS)

Συνίσταται στο να καταστήσει μη διαθέσιμη μια υπηρεσία στις επικοινωνίες D2D θέτοντας κάποιες συσκευές να διαδίδουν ασταμάτητα άχρηστα πακέτα προς τις υπόλοιπες συσκευές .

Απαιτήσεις ασφαλείας

Λόγω των προαναφερθέντων απειλών, ένα ασφαλές σύστημα επικοινωνίας D2D θα πρέπει να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις ασφαλείας [60], είτε είναι υποβοηθούμενη, ελεγχόμενη ή αυτόνομη:

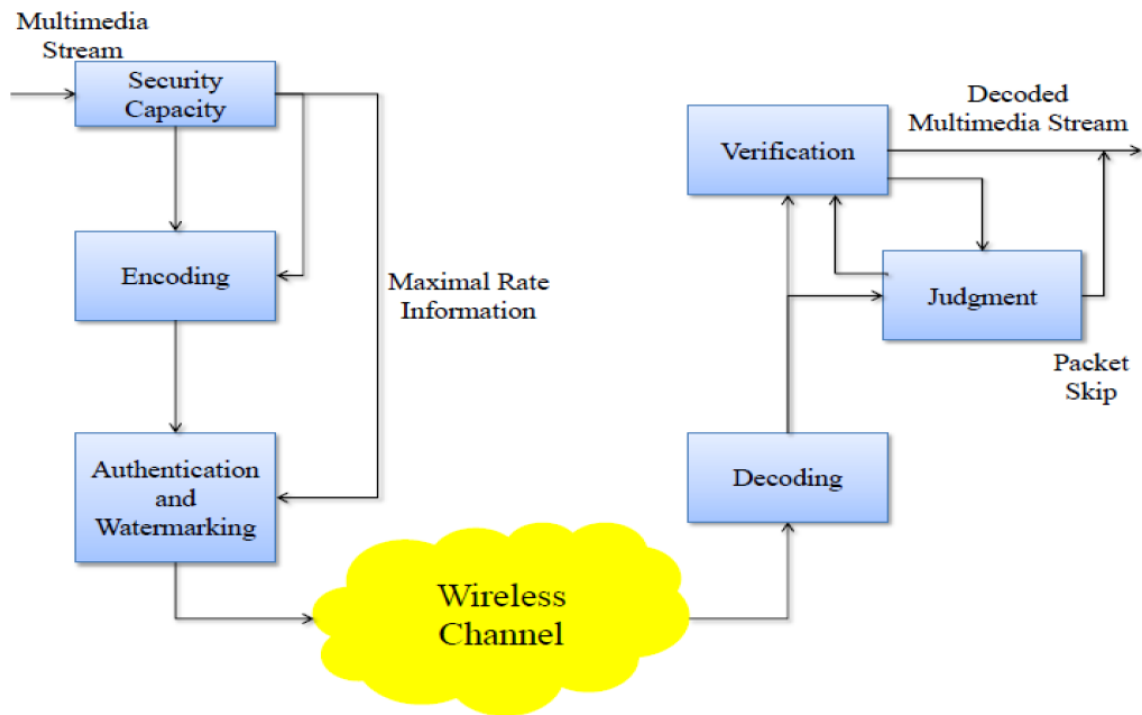
- Authentication: πρέπει να ελέγχεται η ταυτότητα των κόμβων/χρηστών που επικοινωνούν. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να εκχωρηθεί η ταυτότητα σε ένα κλειδί ή μυστικό.
- Εμπιστευτικότητα δεδομένων: τα δεδομένα που μεταδίδονται μεταξύ συσκευών πρέπει να είναι μυστικά χρησιμοποιώντας μηχανισμούς κρυπτογράφησης.
- Ακεραιότητα δεδομένων: τα δεδομένα που μεταφέρονται από εξουσιοδοτημένες συσκευές πρέπει να επαληθεύεται ότι δεν έχουν τροποποιηθεί.
- Απόρρητο: πληροφορίες απορρήτου, όπως ταυτότητα, αριθμός κάρτας SIM, γεωγραφική θέση κ.λπ. πρέπει να διατηρηθούν κρυφά.
- Traceability: είναι απαραίτητο για να παρακολουθείται την πηγή των προσπαθειών παραβίασης της ασφάλειας. Ωστόσο, ορισμένες αντικρουόμενες καταστάσεις μεταξύ του απορρήτου και του traceability πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω.
- Αωνυμία: οι UE που επικοινωνούν πρέπει να είναι ανώνυμοι μεταξύ τους.

- Μη απόρριψη (Non-repudiation): αναφέρεται στη δυνατότητα αποτροπής των UE από το να αρνούνται τη μετάδοση ή τη λήψη ενός μηνύματος. Προσεγγίζοντας με κρυπτογραφία, η ψηφιακή υπογραφή είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την πρόληψη της μη απόρριψης μετάδοσης, ενώ απαιτείται ένας πρόσθετος μηχανισμός για τη διασφάλιση της μη άρνησης λήψης.
- Διαθεσιμότητα: Οι υπηρεσίες D2D θα πρέπει να είναι προσβάσιμες ανά πάσα στιγμή και οπουδήποτε, ακόμη και υπό επιθέσεις DoS ή free-riding, για να μην αποθαρρυνθούν οι χρήστες να χρησιμοποιήσουν αυτήν την τεχνολογία.
- Ανάκληση: αναφέρεται στη δυνατότητα ανάκλησης του user privilege μιας υπηρεσίας D2D εάν εντοπιστεί ως κακόβουλη.
- Λεπτομερής έλεγχος πρόσβασης: λαμβάνει υπόψη πολλών ειδών κρίσιμες πληροφορίες από τη συμπεριφορά ενός UE κατά την πρόσβαση στην υπηρεσία D2D. Θεωρείται ως μια αποτελεσματική λύση για να ξεπεραστούν τα ζητήματα απορρήτου και ασφάλειας μετάδοσης δεδομένων.

Ολιστική προσέγγιση ασφάλειας

Σε περιπτώσεις όπου το δίκτυο είναι υπεύθυνο για τον συντονισμό της επικοινωνίας των D2D συσκευών, είναι υποχρεωτική η προστασία των συνδέσεων μεταξύ χρήστη και ΣΒ. Τα υπάρχοντα κρυπτογραφικά εργαλεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξασφάλιση των διαύλων έναντι γνωστών απειλών ασφαλείας όπως η υποκλοπή, η τροποποίηση μηνυμάτων, οι επιθέσεις επανάληψης και η πλαστοπροσωπία κόμβων. Τα εργαλεία αυτά κωδικοποιούν μηνύματα μέσω ενός κοινόχρηστου μυστικού, το οποίο απαιτεί τη βοήθεια ενός αξιόπιστου τρίτου μέρους (Trusted Third Party) (TTP) ή απλώς του ΣΒ. Σε αυτό το σενάριο, η Public Key Infrastructure (PKI) μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ασφαλείας. Αυτό το εργαλείο ασφαλείας δεν είναι εφικτό για αυτόνομες επικοινωνίες D2D, καθώς δεν υπάρχει η υποδομή της κινητής. Επιπλέον, λόγω του μεγάλου αριθμού κινητών συσκευών, της ποικιλίας των κατασκευαστών και των αποκλίσεων στα πρότυπα, ένα προκαθορισμένο μυστικό κλειδί σε συσκευές δεν είναι μια εφαρμοσμένη λύση.

Ένα πλαίσιο ασφαλείας cross layer θα μπορούσε να αυξήσει την αξιοπιστία των επικοινωνιών D2D [60]. Σε αυτό το πλαίσιο ασφαλείας, το physical layer προσφέρει την ασφάλεια ασύρματης ζεύξης, ενώ το application layer εγγυάται το authentication μέσω υδατογράφησης. Και τα δύο στρώματα έχουν τη δυνατότητα να εγγυώνται την ακεραιότητα και την εμπιστευτικότητα των δεδομένων καθώς διαδίδονται μέσω του ασύρματου καναλιού. Η εικόνα 31 απεικονίζει αυτό το μοντέλο ασφαλείας.



Εικόνα 31: Συνδυαστικό σχέδιο ασφάλειας application layer-physical layer

Το απόρρητο είναι μια επιπλέον πρόκληση που εμποδίζει τις επικοινωνίες D2D, καθώς το D2D παρουσιάζει μια δυναμική ρύθμιση όπου οι συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών συσκευών έχουν διαφορετικό επίπεδο ευαισθησίας ανάλογα με το περιβάλλον. Είναι σημαντικό να δημιουργηθούν συστήματα ελέγχου πρόσβασης, τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες να αναγνωρίζουν ποια δεδομένα μεταδίδονται και σε ποιον. Πολλές σημαντικές πληροφορίες κοινοποιούνται έμμεσα κατά την επικοινωνία σε λειτουργία D2D. Οποιοσδήποτε κακόβουλος χρήστης κρυφακούει αυτές τις πληροφορίες μπορεί να μην είναι σε θέση να κατανοήσει το κωδικοποιημένο περιεχόμενο, αλλά η έκθεση φαινομενικά αθώων δεδομένων για μεγάλο χρονικό διάστημα επιτρέπει στον επιτεθέμενο να λάβει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τα μοτίβα σύνδεσης των χρηστών. Οι συσκευές κινητής σχετίζονται εξ ολοκλήρου με ένα άτομο η καθεμία και κατά συνέπεια, τα μοτίβα σύνδεσης όπως ο χρόνος, η τοποθεσία, η διάρκεια σύνδεσης, ο τύπος συσκευής κ.λπ., που παράγονται από αθώες πληροφορίες μπορούν να βοηθήσουν τον επιτεθέμενο να αναγνωρίσει έναν συγκεκριμένο χρήστη μιας συσκευής. Οι μέθοδοι διατήρησης της ανωνυμίας λειτουργούν με σκοπό να διαχωρίσουν τις προσωπικές πληροφορίες από την ταυτότητα των χρηστών για να διατηρήσουν το απόρρητο. Οι συνδέσεις D2D απαιτούν αποκεντρωμένες δομές διατήρησης του απορρήτου. Γενικά υπάρχει έντονος προβληματισμός στην ερευνητική κοινότητα σχετικά με το πώς μπορεί να διατηρηθεί το απόρρητο κατά την ανταλλαγή πληροφοριών. Αυτές οι απλές ανάγκες ασφαλείας απαιτούν την ασφαλή αποθήκευση πληροφοριών μέσω ενός συγκεκριμένου κλειδιού συσκευής, που εγγυάται τη λειτουργία του λογισμικού μεμονωμένα και ότι κάθε εξωτερική συσκευή θα είναι συμβατή με αυτό το λογισμικό. Η υλοποίηση ενός ασφαλούς δικτύου D2D 5G απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση μέσω standardization, ανάπτυξης, υλοποίησης και λειτουργιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

5.1 Έλεγχος ισχύος

Ένας τρόπος για να μειωθούν οι παρεμβολές από τις ζεύξεις D2D στις cellular συνδέσεις είναι ο περιορισμός της ισχύος μετάδοσης των χρηστών D2D. Οι ερευνητές του [37] μελετούν αυτή την πτυχή για το σενάριο μίας κυψέλης με ένα ζεύγος D2D. Η ιδέα είναι να ρυθμιστεί η ισχύς του πομπού D2D έτσι ώστε η υποβάθμιση της απόδοσης (όσον αφορά τη μείωση του SINR) που αντιλαμβάνονται οι cellular χρήστες να μην υπερβαίνει ένα καθορισμένο όριο. Ομοίως, οι μελετητές του [38] μετριάζουν τις παρεμβολές από τις μεταδόσεις D2D μειώνοντας την ισχύ τους με μια παράμετρο backoff. Επειδή ο περιορισμός της ισχύος D2D μεταφράζεται στην ελαχιστοποίηση του εύρους εμβέλειας των D2D συνδέσεων. Οι ερευνητές επίσης προσαρμόζουν την ισχύ των cellular χρηστών για να μετριάσουν τις παρεμβολές.

Στο [39], σχεδιάζουν μια κεντρική οντότητα ανάθεσης ισχύος που μεγιστοποιεί το SINR ενός χρήστη κινητής ενώ ικανοποιεί συγκεκριμένους περιορισμούς SINR πολλαπλών συνδέσεων D2D που έχουν ανατεθεί στον ίδιο πόρο. Επειδή η λύση κεντρικής διαχείρισης περιλαμβάνει το global CSI, προτείνεται και ένας on-off κατανομημένος έλεγχος ισχύος. Ωστόσο, αν και βελτιώνει την απόδοση του συστήματος, δεν είναι επαρκής για να εγγυηθεί μια αξιόπιστη cellular επικοινωνία. Σε ένα πραγματικό σύστημα, θα πρέπει επίσης να ελέγχονται προσεκτικά οι inter-cell παρεμβολές που προκαλούνται τόσο από χρήστες D2D όσο και από cellular χρήστες στις γειτονικές κυψέλες. Το σενάριο πολλαπλών κυψελών αναλύεται στο [40]. Εδώ, οι ερευνητές βελτιστοποιούν την ισχύ μετάδοσης ενός χρήστη κινητής, και ενός ζεύγους D2D έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί το sum rate τους. Ο αλγόριθμος είναι βέλτιστος όταν υποθέτουμε την ύπαρξη μόνο δύο ζεύξεων ανά κυψέλη και όταν η inter-cell παρεμβολή περιορίζεται σε μία μόνο γειτονική κυψέλη. Ωστόσο, οι μελετητές συζητούν πώς να επεκτείνουν τη λύση σε ένα γενικότερο σενάριο πολλαπλών χρηστών και πώς να παρέχουν ένα ανώτερο όριο στην απώλεια απόδοσης για την περίπτωση πολλαπλών γειτονικών κυψελών. Αν και το πλάνο σταθερής ισχύος μετάδοσης είναι πολύ απλό, δεν λειτουργεί καλά για την επικοινωνία D2D λόγω του πιθανώς μεγάλου δυναμικού εύρους του D2D SINR (δηλαδή, μπορεί να παρέχει πολύ καλή απόδοση για ορισμένους χρήστες και πολύ κακή απόδοση για κάποιους άλλους).

Οι ερευνητές του [41] αναλύουν μια προσέγγιση μεγιστοποίησης της απόδοσης ισχύος για ένα σενάριο μονής κυψέλης με έναν χρήστη κινητής και ένα ζεύγος D2D. Μεταξύ όλων των διαφορετικών λειτουργιών κοινής χρήσης πόρων, επιλέγουν αυτή που δίνει την καλύτερη απόδοση. Το μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι βασίζεται σε εξαντλητικές αναζητήσεις για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των τρόπων επικοινωνίας, που ενδέχεται να απαιτούν αρκετό χρόνο επεξεργασίας.

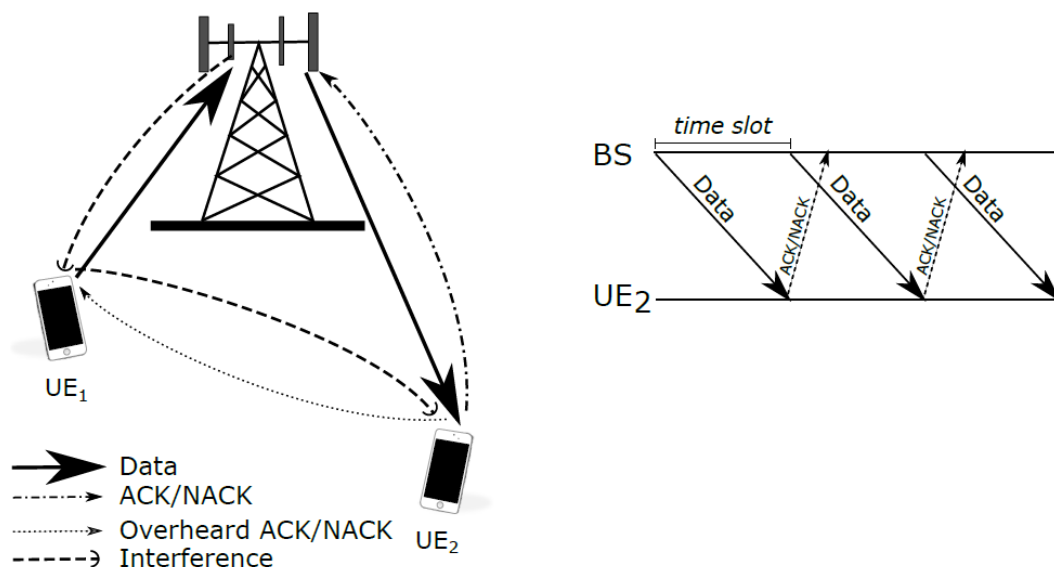
Στις περισσότερες από τις προαναφερθείσες έρευνες, οι μελετητές συμπεραίνουν ότι το αυτόνομο σύστημα ελέγχου ισχύος δεν επαρκεί για την αποτελεσματική διαχείριση των παρεμβολών, και αυτό πρέπει να συμπληρωθεί με την επιλογή τρόπου λειτουργίας (mode selection) και τον προγραμματισμό(scheduling) των πόρων. Ένας συνδυασμός ελέγχου αποδοχής, επιλογής τρόπου λειτουργίας και ελέγχου ισχύος προτείνεται στο [40] με σκοπό να μεγιστοποιηθεί η συνολική απόδοση και να αυξηθεί ο αριθμός των αποδεκτών χρηστών στο σύστημα. Μαθηματικά το πρόβλημα διατυπώνεται ως μη γραμμικό. Λόγω της συνδυαστικής φύσης της λύσης, η πολυπλοκότητά της αυξάνεται εκθετικά με τον αριθμό των ζευγών χρηστών.

5.2 Κατανεμημένη επιλογή λειτουργίας D2D σε full-duplex

Η σωστή ανάθεση τρόπου επικοινωνίας (δηλαδή, λειτουργία κινητής ή λειτουργία D2D) παίζει σημαντικό ρόλο στη μεγιστοποίηση της απόδοσης και στα υπόλοιπα επαναστατικά αποτελέσματα που υπόσχεται η επικοινωνία D2D. Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί αρκετές λύσεις με στόχο τη βελτιστοποίηση διαφόρων μέτρων απόδοσης. Ωστόσο, η πρακτική εφαρμογή των περισσότερων από αυτές τις λύσεις είναι αρκετά μεγάλη πρόκληση επειδή είτε απαιτούν γνώση του καθολικού CSI, είτε προσθέτουν ένα σημαντικό ποσοστό overhead στο σύστημα. Επιπλέον, η υλοποίηση κεντρικών λύσεων, καθώς και η απόκτηση γνώσης των καναλιών/δικτύων, είναι γενικά δαπανηρή και μη πρακτική.

Οι ερευνητές του [44] θεώρησαν ένα δίκτυο πολλαπλών κυψελών. Σε κάθε κυψέλη, το πολύ ένας ζεύγος χρηστών (ένας κινητός πομπός και ο προβλεπόμενος κινητός δέκτης του) μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα συγκεκριμένο κανάλι συχνοτήτων. Αρχικά, όλα τα ζεύγη χρηστών επικοινωνούν σε cellular λειτουργία και χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι για μεταδόσεις Uplink και Downlink. Υποθέτουν χρησιμοποίηση overlay επικοινωνίας D2D, συγκεκριμένα όταν ένα ζεύγος χρηστών μεταβαίνει σε λειτουργία D2D, διατηρεί το ίδιο κανάλι που του είχε ανατεθεί για την επικοινωνία σε cellular λειτουργία. Επικεντρώνονται στη μονόδρομη επικοινωνία μεταξύ δύο χρηστών. Ειδικότερα, στη μετάδοση δεδομένων από τον χρήστη UE1 στον χρήστη UE2, σε μία δεδομένη κυψέλη. Όταν το ζεύγος χρηστών UE1 - UE2 επικοινωνεί, τόσο οι μεταδόσεις δεδομένων όσο και οι μεταδόσεις ελέγχου προκύπτουν στο ίδιο κανάλι, όπως φαίνεται στην Εικόνα 32(a). Ο ΣΒ είναι εξοπλισμένος με multi-user multiple-input multiple-output (MU-MIMO) δέκτη και μπορεί να λάβει διαφορετικά ταυτόχρονα σήματα UPLINK στο ίδιο κανάλι, δηλαδή τα σήματα δεδομένων από το UE1 και τα σήματα ελέγχου από το UE2. Επιπλέον, τόσο ο ΣΒ όσο και οι cellular χρήστες είναι ικανοί για λειτουργίες in-band FD(Full-Duplex). Μοντελοποιούν το SI ως τον συντελεστή εξασθένησης πολλαπλασιαζόμενο με την ισχύ μετάδοσης της συσκευής. Ο χρόνος εισέρχεται σε slots, με κάθε slot να αντιστοιχεί σε μία μόνο μετάδοση πακέτου δεδομένων, και το UE1 μεταδίδει ένα πακέτο δεδομένων σε κάθε slot. Επειδή ο ΣΒ τυπικά έχει μεγαλύτερες δυνατότητες χειρισμού παρεμβολών από τις φορητές συσκευές, υποθέτουν ότι η μετάδοση downlink είναι ο πιο αδύναμος κρίκος υποφέροντας από βαθιές εξασθενίσεις. Στον δέκτη UE2, τα πακέτα που προωθούνται από τον ΣΒ ελέγχονται για σφάλματα και τα μηνύματα ελέγχου Acknowledge (ACK) ή Not Acknowledge

(NACK) (υποτίθεται χωρίς σφάλματα) αποστέλλονται στον ΣΒ στο τέλος κάθε timeslot. (Εικόνα 32(β)). Επιπλέον, οι τρεις κόμβοι (UE1, UE2 και ΣΒ) είναι συγχρονισμένοι και όλοι γνωρίζουν πότε αποστέλλονται τα σήματα ελέγχου Uplink ACK και NACK.



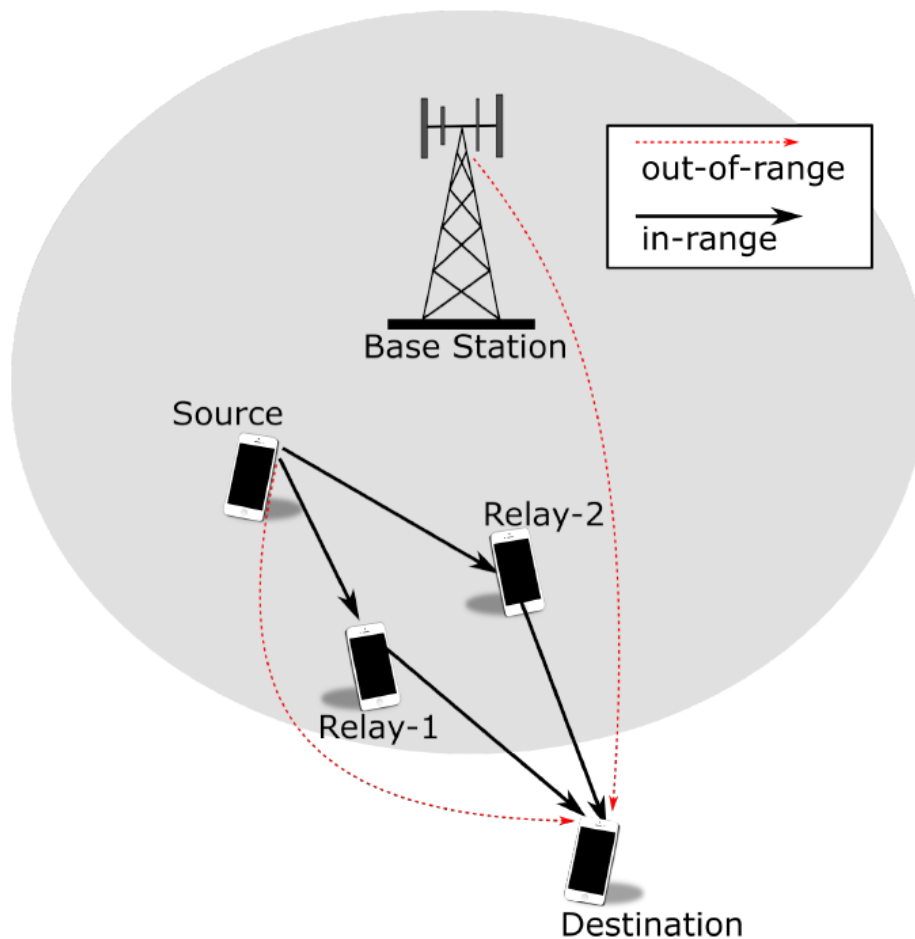
Εικόνα 32: (α) Full duplex μοντέλο συστήματος, (β) διαδικασία μετάδοσης

5.3 Επικοινωνία D2D με αναμεταδότη

Η τεχνολογία D2D με λειτουργίες αναμετάδοσης είναι μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την πραγματοποίηση της επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων όταν τόσο η άμεση λειτουργία D2D όσο και η παραδοσιακή λειτουργία κινητής δεν εγγυώνται το επιθυμητό QoS. Αυτό συμβαίνει, για παράδειγμα, λόγω του υψηλού path loss, του αποκλεισμού ή της σκίασης μεταξύ των δύο κόμβων, ή ακόμη και μίας φυσικής καταστροφής που έχει βλάψει την υποδομή του δικτύου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι εναλλακτικές διαδρομές από την πηγή στον προορισμό μέσω ενός ή πολλών αναμεταδοτών είναι μία βιώσιμη λύση, αξιοποιώντας τη συνδυαστική ποικιλομορφία και παρέχοντας επέκταση κάλυψης δικτύου χωρίς επιπλέον ανάπτυξη υποδομών. Η ικανότητα των κόμβων αναμετάδοσης να εκπέμπουν είτε σε λειτουργία FD (full-duplex) είτε σε λειτουργία HD (half duplex) παρέχει μια αντιστάθμιση μεταξύ της φασματικής απόδοσης και της αποφυγής παρεμβολών. Στην πραγματικότητα, παρόλο που οι αναμεταδότες FD μπορούν να αυξήσουν τη φασματική απόδοση, πρέπει να αντιμετωπίσουν το SI (Signal-interference). Αξιοποιώντας τις state-of-the-art τεχνικές ακύρωσης SI, πολλές πρόσφατες μελέτες διερευνούν τα πλεονεκτήματα των συστημάτων D2D με υποβοήθηση αναμεταδοτών σε FD. Επίσης η εξοικονόμηση ισχύος είναι ένας κρίσιμος περιορισμός επειδή οι

αναμεταδότες θυσιάζουν τη διάρκεια ζωής των συσκευών με περιορισμένη μπαταρία για τη μετάδοση δεδομένων άλλων χρηστών.

Οι ερευνητές στο [45] εξετάζουν ένα σενάριο μίας κυψέλης, όπου η άμεση D2D μετάδοση μεταξύ χρηστών επιτρέπεται και στο cellular φάσμα. Όπως απεικονίζεται στην εικόνα 33 επικεντρώνονται στην επικοινωνία μεταξύ δύο mobile χρηστών, που υποδεικνύονται ως Πηγή (S) και Προορισμός (D). Θεωρούν την περίπτωση στην οποία αυτοί οι δύο χρήστες δεν μπορούν να επικοινωνήσουν με επιτυχία ούτε μέσω του ΣΒ (κυψελοειδής επικοινωνία) ούτε μέσω απευθείας σύνδεσης (one-hop D2D επικοινωνίας) λόγω της δυσμενής κατάστασης καναλιού που αντιμετωπίζει ο D τόσο προς τον ΣΒ όσο και προς την S. Σε ένα τέτοιο σενάριο, ο D θεωρείται εκτός εμβέλειας όσον αφορά τόσο το ΣΒ όσο και τον πομπό S. Ωστόσο, υποθέτουν ότι μέσα στην κυψέλη υπάρχουν και άλλοι χρήστες που βρίσκονται εντός εμβέλειας σε σχέση με τον S και το D και ως εκ τούτου μπορεί να λειτουργήσουν ως Decode-and-Forward αναμεταδότες. Κάθε πομπός και ο προβλεπόμενος δέκτης εκχωρούνται σε έναν αποκλειστικό δίαυλο συχνότητας. Αυτό σημαίνει ότι οι ενδοκυψελικές παρεμβολές προκαλούνται μόνο από πιθανούς αναμεταδότες που επαναχρησιμοποιούν τα ήδη εκχωρημένα κανάλια. Τέλος, υποθέτουμε ότι η φάση ανακάλυψης αναμεταδότη έχει ήδη πραγματοποιηθεί. Δηλαδή, το δίκτυο έχει αναγνωρίσει το σύνολο των κόμβων που είναι κατάλληλοι για αναμετάδοση. Ο σκοπός αυτής της έρευνας είναι να επιλεχτεί ο καλύτερος αναμεταδότης και ο πιο αποδοτικός τρόπος αναμετάδοσης που ενισχύει περισσότερο την απόδοση της επικοινωνίας του S με τον D.



Εικόνα 33: Παράδειγμα επικοινωνιών D2D με αναμεταδότες

Λειτουργίες αναμετάδοσης: Έστω R το σύνολο όλων των υποψηφίων αναμεταδοτών. Κάθε αναμεταδότης μπορεί εκπέμπει σε FD και διατηρεί έναν προσωρινό buffer (ουρά δεδομένων) πεπερασμένου μήκους. Οι buffers αποθηκεύουν τα αποκωδικοποιημένα δεδομένα από τον S που πρέπει να προωθηθούν στο D . Θεωρούν τρεις πιθανές λειτουργίες αναμετάδοσης (relaying modes) για την υποστήριξη της μετάδοσης από τον S στον D , όπως φαίνεται στην Εικόνα 34. Η λειτουργία του συστήματος χωρίζεται σε time-frames κατά τα οποία τα χαρακτηριστικά των καναλιών θεωρείται ότι παραμένουν αμετάβλητα. Στην αρχή κάθε frame, επιλέγεται η λειτουργία αναμετάδοσης, με την αντίστοιχη ισχύ μετάδοσης για την πηγή S και επιλεγμένο αναμεταδότη, και χρησιμοποιείται για την υπόλοιπη διάρκεια του frame.

- **Full-Duplex relaying (FD):**

Ο ίδιος αναμεταδότης εκπέμπει και λαμβάνει ταυτόχρονα στο ίδιο κανάλι. Αυτή η λειτουργία ενισχύει τη φασματική απόδοση αλλά εισάγει SI.

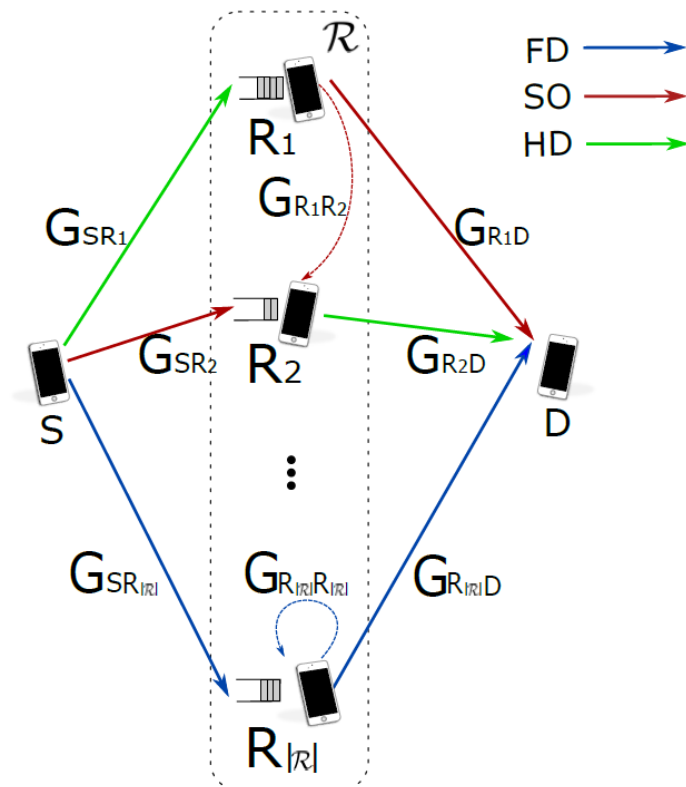
- **Successive Opportunistic relaying (SO):**

Επειδή υποθέτουν την ύπαρξη πολλαπλών αναμεταδοτών με buffers, δύο διαφορετικοί αναμεταδότες μπορούν να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα το ίδιο κανάλι: ένας για λήψη

δεδομένων από το S και ένας άλλος για τη μετάδοση δεδομένων στο D. Σε αυτή την περίπτωση, εμφανίζεται διασταυρούμενη παρεμβολή μεταξύ των δύο αναμεταδοτών.

- **Half-Duplex relaying (HD):**

Κάθε φορά μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μία μετάδοση από τον S σε αναμεταδότη είτε μία μετάδοση από έναν αναμεταδότη στον D στο κανάλι που έχει ανατεθεί στην επικοινωνία από τον S στο D. Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται, όταν οι λειτουργίες FD και SO δεν είναι εφικτές.



Εικόνα 34: Οι 3 λειτουργίες αναμετάδοσης στο συγκεκριμένου μοντέλο

5.4 Ενεργειακή Απόδοση σε Single-hop Μοντέλο D2D

Ο ερευνητής στο [58] προτείνει μία υβριδική D2D αρχιτεκτονική επικοινωνίας όπου ένας κεντρικός ελεγκτής SDN επικοινωνεί με το Cloud Head (CH) προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός των 5G συνδέσεων, βελτιώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, οι UE μπορούν να συμμετέχουν και να εκτελούν λειτουργίες σε πολλαπλά Mobile Clouds (MC) ταυτόχρονα. Τα MC επιτρέπουν στους UE να μοιράζονται τους πόρους/υπηρεσίες τους μέσω ζεύξεων D2D, διατηρώντας παράλληλα τη συνδεσιμότητα στο overlay δίκτυο. Πολλές πτυχές των MCs έχουν μελετηθεί ξεχωριστά στο παρελθόν, στον τομέα των ad-hoc δικτύων. Το MC λειτουργεί σε τρία διαφορετικά στάδια: σχηματισμός cloud, λειτουργία cloud και συντήρηση cloud. Ένα σημαντικό ζήτημα για την επικοινωνία D2D μέσω MC είναι ο σχεδιασμός μιας σύνθετης αρχιτεκτονικής που υπολογίζει τα δυναμικά χαρακτηριστικά των UEs και των πόρων τους και

στα τρία στάδια. Η αρχιτεκτονική θα πρέπει να είναι ικανή να καθιερώνει κανόνες για το πώς μοιράζονται πόροι/υπηρεσίες.

Στο σχηματισμό ενός MC, υπάρχει βιβλιογραφία για αρκετούς μηχανισμούς ανακάλυψης συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, και αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο γενικές κατηγορίες:

- **Κεντρική ανακάλυψη συσκευών** όπου όλοι οι UE ανακοινώνουν την τοποθεσία τους για τον εντοπισμό τους από άλλους UE
- **Κατανεμημένη ανακάλυψη συσκευών**, όπου κάθε UE εκπέμπει πακέτα broadcast σε περιοδικά χρονικά διαστήματα και ακούει για να λαμβάνει τις ταυτότητες άλλων UE σε άλλα time slots.

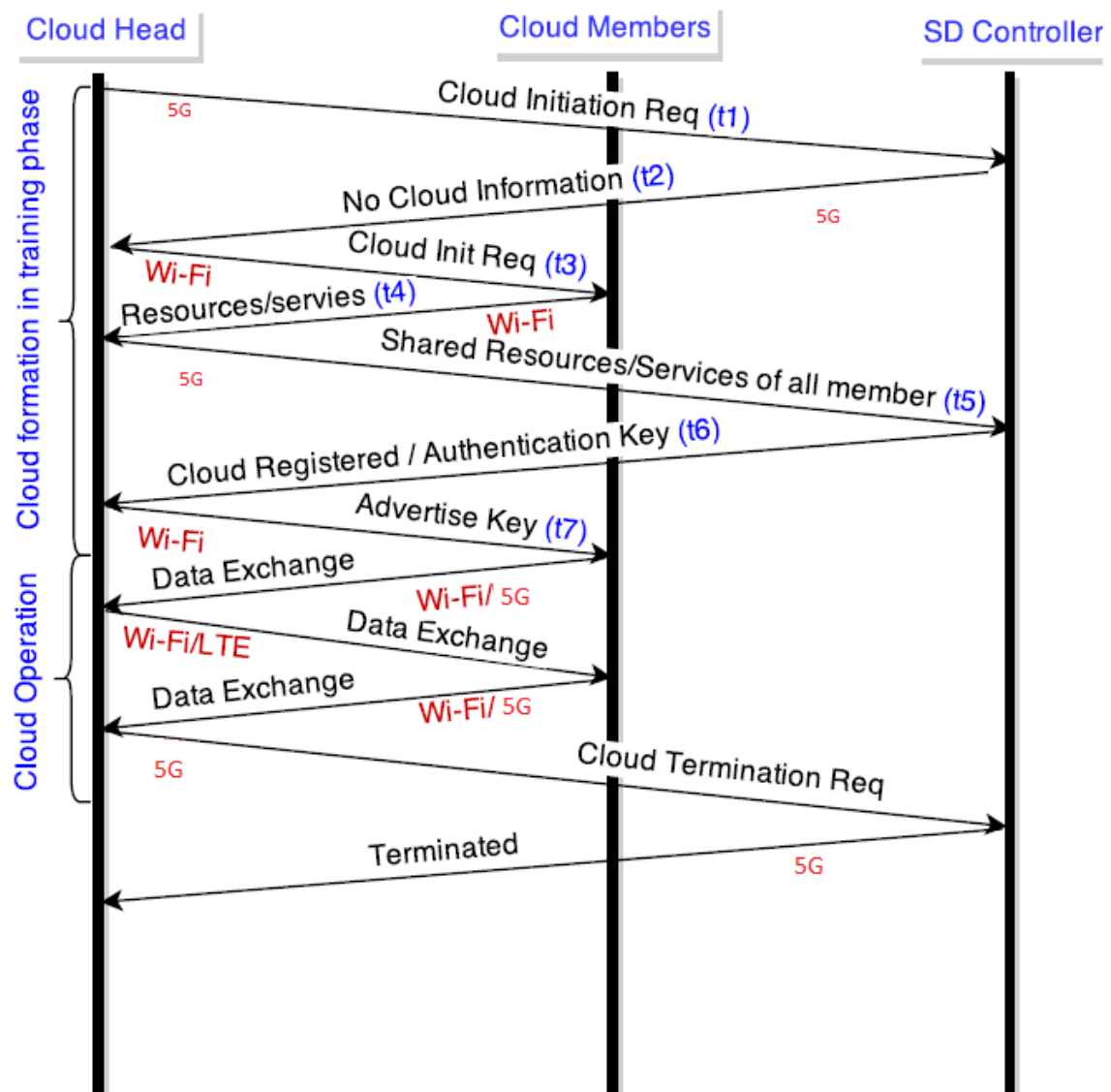
Ο σχηματισμός clouds χωρίζεται σε δύο φάσεις. Η μία είναι η φάση training, ένας UE ξεκινάει ένα MC, εκπέμποντας αιτήματα σχηματισμού cloud στους UE που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μέσω μίας σύνδεσης WiFi. Μετά τον επιτυχή σχηματισμό, το cloud καταχωρείται στον global SDN controller. Στη δεύτερη φάση, την «ώριμη» φάση, ο global SDN controller θα έχει μια συνολική προβολή όλων των εξυπηρετούμενων MCs με τις υπηρεσίες που προσφέρουν. Σε αυτό το σημείο, ο SDN controller μπορεί να ρυθμίσει τα MCs κατόπιν αιτημάτων των χρηστών. Στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική η κατανάλωση ενέργειας των UE στον σχηματισμό και τη λειτουργία του cloud είναι ανάλογη του μεγέθους του cloud.

Software-Defined MCs (Mobile Clouds)

Κάθε UE έχει μία εγκατεστημένη εφαρμογή SDN για τη συνεργασία στα MCs. Η εφαρμογή SDN του CH(Cloud Head) θεωρείται ως ο τοπικός ελεγκτής SDN. Το MC σχηματίζεται κατ' απαίτηση και η εφαρμογή SDN χρησιμοποιεί μια υβριδική προσέγγιση για τη δημιουργία ενός MC για την απαιτούμενη υπηρεσία. Ο global SDN controller, ο οποίος βρίσκεται στο διαδίκτυο, έχει μια σφαιρική εικόνα όλων των MCs που υπάρχουν στην εμβέλειά του. Μπορεί να υπάρχει ένας ελεγκτής SDN για πολλαπλά eNB αλλά όχι πάρα πολλά γιατί η πολυπλοκότητα μπορεί να γίνει υπερβολική για το δίκτυο. Ο global SDN controller διατηρεί μια βάση δεδομένων με όλα τα MCs, αποθηκεύοντας την ταυτότητα κάθε UE με όλες τις υπηρεσίες που μπορεί να μοιραστεί με άλλους. Σε περίπτωση υπηρεσιών κοινής χρήσης πόρων, οι λεπτομέρειες των πόρων αποθηκεύονται και αυτές στη βάση δεδομένων SDN. Μόλις «ωριμάσει» η βάση δεδομένων, ο global SDN controller, για να εξοικονομήσει την κατανάλωση ενέργειας των UE στη φάση ανακάλυψης υπηρεσίας, εκτελεί τον σχηματισμό cloud, χωρίς τη συμμετοχή τοπικού SDN controller. Οποιαδήποτε αλλαγή στην υπηρεσία (όπως αν ένας UE φύγει από το MC ή αν προστεθεί ένας νέος UE ή αν ένας UE αλλάξει τους κοινόχρηστους πόρους του, π.χ., αυξήσει το μέγεθος της κοινόχρηστης μνήμης κ.λπ.) θα ανακατευθυνθεί αμέσως στον global SDN controller μέσω του 5G interface του CH.

Ο πρώτος UE εκπέμπει ένα αίτημα για το σχηματισμό cloud μέσω WiFi, για την κοινή χρήση μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας. Οι UE στην περιοχή που ενδιαφέρονται για την κοινή χρήση

αυτής της υπηρεσίας, ανταποκρίνονται με τους πόρους/υπηρεσίες τους. Η SDN εφαρμογή σε κάθε UE διατηρεί μια βάση δεδομένων με όλες τις υπηρεσίες και τους πόρους, που ο UE είναι πρόθυμος να μοιραστεί. Μόλις ληφθεί ένα αίτημα για σχηματισμό cloud για μία συγκεκριμένη υπηρεσία, όλοι οι ενδιαφερόμενοι UE μοιράζονται την πλήρη βάση δεδομένων με τον εκκινητή UE. Ο εκκινητής UE μοιράζεται αυτήν τη βάση δεδομένων με τον global SDN controller μέσω του 5G interface. Στη συνέχεια ο global SDN controller καταχωρεί το MC, επιλέγει έναν CH (κυρίως τον εκκινητή UE) και διαδίδει ένα κλειδί ελέγχου ταυτότητας στο MC για περαιτέρω επικοινωνία μεταξύ των μελών του cloud. Το κλειδί μοιράζεται μεταξύ των UEs του MC για την ασφάλειά τους από κάθε κακόβουλη επίθεση. Η πλήρης διαδικασία σηματοδότησης για τον σχηματισμό και τη λειτουργία του cloud φαίνονται στην εικόνα 35.

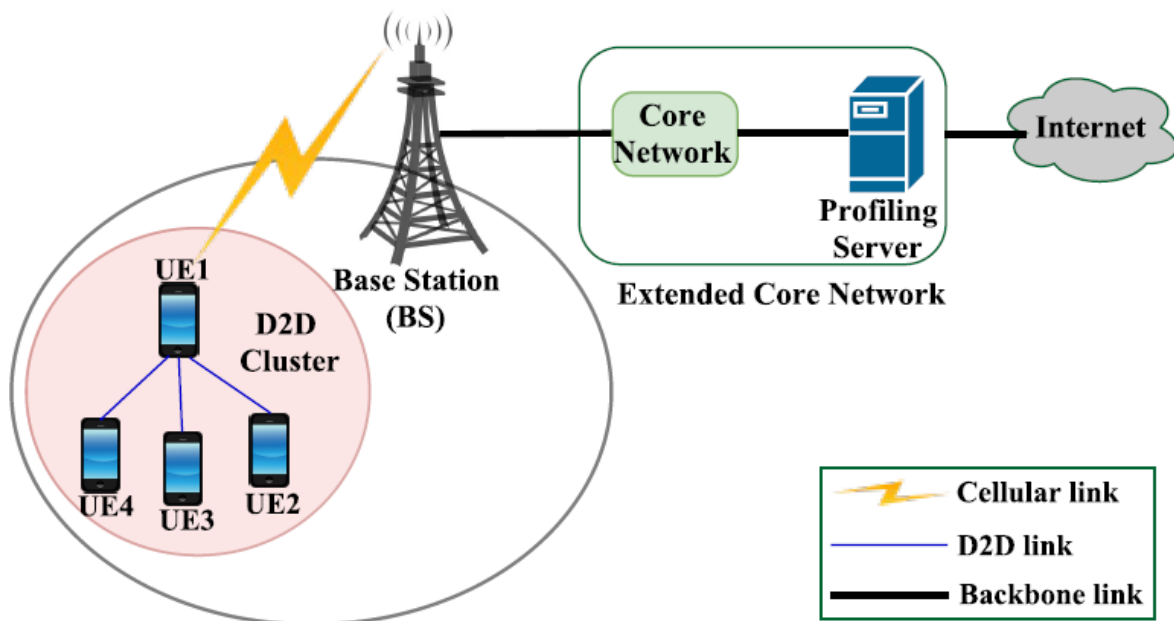


Εικόνα 35: Περιγραφή σηματοδότησης για τον σχηματισμό cloud.

5.5 Εκφόρτωση κίνησης

Η εκφόρτωση της κίνησης θεωρείται μία πιθανή λύση για το πρόβλημα του bottleneck της χωρητικότητας του κυψελωτού δικτύου κινητής. Για παράδειγμα, σε εφαρμογές διανομής

περιεχομένου, οι UE σε κοντινή απόσταση που έχουν πρόσβαση στο ίδιο περιεχόμενο του διαδικτύου σχηματίζουν ένα D2D cluster [61].



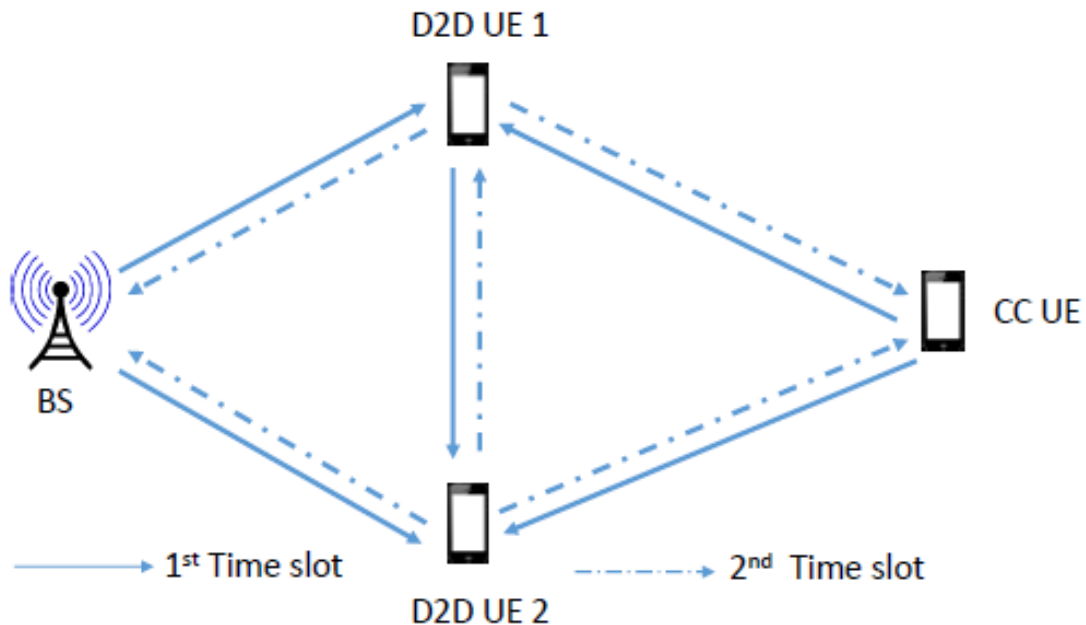
Εικόνα 36: Αρχιτεκτονική για την εκφόρτωση της cellular κίνησης χρησιμοποιώντας δίκτυα D2D

Σε αυτό το cluster, ένας UE λαμβάνει περιεχόμενο από τον διακομιστή περιεχομένου και το διανέμει στους άλλους UEs εντός του cluster (βλ. Εικόνα 36). Με αυτόν τον τρόπο, ένα σημαντικό μέρος της cellular κίνησης θα μπορούσε να εκφορτωθεί σε δίκτυα D2D, που σε άλλες περιπτώσεις θα έπρεπε να διασχίσει όλο το δίκτυο πρόσβασης και κορμού. Για να εκφορτωθεί η cellular κίνηση, ο πάροχος του δικτύου πρέπει να έχει κρατήσει ιστορικό σχετικά με την κίνηση των UEs. Εάν οι UE σε κοντινή απόσταση έχουν πρόσβαση στο ίδιο περιεχόμενο, ο πάροχος θα μπορεί να διανέμει περιεχόμενα υλοποιώντας D2D συνδέσεις μεταξύ των UEs για εξοικονόμηση bandwidth. Από την οπτική ασφαλείας ένα ορισμένο επίπεδο προστασίας μπορεί να επιτευχθεί μέσω κρυπτογράφησης.

5.6 Μοντέλο Inband αναμετάδοσης

Σε overlay inband D2D, το κυψελοειδές δίκτυο εκχωρεί αποκλειστικούς πόρους, όπως κανάλια φάσματος ή διαφορετικά timeslots του καναλιού σε ζεύξεις D2D. Ο ΣΒ αναθέτει αποκλειστικούς πόρους για συνδέσεις D2D. Το overlaying D2D εξαλείφει τις αμοιβαίες παρεμβολές μεταξύ των cellular δικτύων και των δικτύων D2D, ωστόσο μειώνει τους διαθέσιμους πόρους και την απόδοσή τους για το cellular δίκτυο. Στο [53] ο διάυλος επικοινωνίας είναι χωρισμένος σε διαφορετικά υποκανάλια στο πεδίο του χρόνου για την overlay επικοινωνία D2D. Οι μελετητές θεώρησαν ένα ζεύγος D2D UE ως μία αμφίδρομη αναμετάδοση μεταξύ των CC UE και του ΣΒ και παράλληλα οι UEs του ζεύγους μπορούν να επικοινωνούν και μεταξύ τους.

Στο πρώτο timeslot ΣΒ και CC UEs μεταδίδουν δεδομένα στους δύο D2D UE και στο δεύτερο timeslot οι δύο D2D UE μεταδίδουν τα δεδομένα στο CC UE και στο ΣΒ όπως φαίνεται στην εικόνα 37. Σε κάθε timeslot, μόνο ένας D2D UE μπορεί να στείλει μήνυμα στον άλλο D2D UE. Σύμφωνα με το throughput του διαύλου, ο CC UE επιλέγει τους D2D UEs ως αναμεταδότες για επικοινωνία με το ΣΒ. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συνολικός επιτεύξιμος ρυθμός δικτύου αυξάνεται τόσο για τις cellular συνδέσεις όσο και για τις συνδέσεις D2D.



Εικόνα 37: Το πρωτόκολλο των δύο διαφορετικών timeslots

5.7 Μηχανισμός ασφαλείας που βασίζεται στη φήμη

Η διαχείριση της φήμης είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων στις επικοινωνίες D2D. Η φήμη μπορεί να οριστεί ως γνώμη ενός χρήστη ή UE για έναν άλλο. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί θεωρείται ως η αξιοπιστία ενός χρήστη, ή ως η προσδοκία ότι ένας χρήστης θα συμπεριφερθεί με συγκεκριμένο τρόπο. Για παράδειγμα, εάν ένας χρήστης έχει τη φήμη ότι δεν ολοκληρώνει τις εργασίες ή μοιράζεται ακατάλληλο/λανθασμένο περιεχόμενο, τότε οι άλλοι χρήστες θα αποφύγουν τη σύνδεση με έναν τέτοιο χρήστη[52]. Πριν από τη δημιουργία οποιασδήποτε σύνδεσης D2D, οι UE επαληθεύουν ο ένας τον άλλον με τη βοήθεια της φήμης που αποθηκεύεται σε έναν profiling server. Μετά τον έλεγχο ταυτότητας, οι UEs μπορούν να δημιουργήσουν ένα ασφαλές κανάλι (όπως το SSL), το οποίο μπορεί να εγγυηθεί τόσο εμπιστευτικότητα όσο και ακεραιότητα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λόγω της εμφάνισης νέων εφαρμογών που χρησιμοποιούν μεγάλους όγκους δεδομένων, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι αγωνίζονται για να καλύψουν την ζήτηση των Mobile χρηστών. Στο κεφάλαιο 1 συγκρίναμε το 5G D2D με άλλες τεχνολογίες D2D. Η εμπλοκή των κυψελοειδών δικτύων στο επίπεδο ελέγχου (control plane) είναι η βασική διαφορά μεταξύ της D2D και των MANET και CRN. Η διαθεσιμότητα της επίβλεψης/διαχείρισης μίας κεντρικής οντότητας στις επικοινωνίες D2D επιλύει πολλές υπάρχουσες προκλήσεις των MANET και CRN όπως είναι ανίχνευση λευκού χώρου(white space), η αποφυγή (συγκρούσεων) collisions και ο συγχρονισμός. Το πρόβλημα με το Bluetooth και το Wi-Fi Direct είναι ότι απαιτούν manual σύζευξη μεταξύ των συσκευών. Στο κεφάλαιο 2 αναλύσαμε λίγο περισσότερο την πέμπτη γενιά, καθώς η έρευνα σε αυτή την εργασία αφορά τα κυψελωτά δίκτυα 5G. Παρουσιάσαμε επίσης τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες του 5G, ρίξαμε μια ματιά στα νέα και φουτουριστικά οράματα του IoT και ελέγξαμε τις δυνατότητες των επικοινωνιών D2D που θα εξυπηρετήσουν Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάσαμε τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες και λειτουργίες της επικοινωνίας συσκευής με συσκευή (D2D) που επιτρέπουν την άμεση επικοινωνία μεταξύ κοντινών συσκευών, ένα καινοτόμο χαρακτηριστικό των εξελισσόμενων δικτύων κινητής πέμπτης γενιάς (5G). Σε αυτό το κεφάλαιο, συνοψίσαμε τις γενικές πληροφορίες σχετικά με την ταξινόμηση, το standardization και τις πιθανές εφαρμογές της επικοινωνίας D2D. Επιτρέποντας την άμεση επικοινωνία μεταξύ των χρηστών κινητής, μπορούμε να αποφορτίσουμε τους σταθμούς βάσης και να βελτιώσουμε τις μετρήσεις απόδοσης, όπως η κάλυψη δικτύου, το latency από άκρο σε άκρο, την κατανάλωση ενέργειας και τη φασματική απόδοση. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 4 εστιάσαμε στις ερευνητικές προκλήσεις που αφορούν θέματα αρχιτεκτονικής και λειτουργίας στην επικοινωνία D2D και παρουσιάσαμε ορισμένες μεθόδους ερευνητών για την αντιμετώπιση ορισμένων προκλήσεων στο κεφάλαιο 5. Ωστόσο, πολλά στοιχεία των D2D ζεύξεων χρειάζονται περαιτέρω έρευνα και ειδικά στο physical layer, όπως η διαμόρφωση, ο έλεγχος ισχύος, η εκτίμηση του διαύλου κ.λπ. Η ασφάλεια στην επικοινωνία D2D είναι ακόμα σε εμβρυϊκή κατάσταση. Ελάχιστες μελέτες έχουν εξετάσει ζητήματα ασφάλειας σε αυτή τη νέα τεχνολογία. Η υποκλοπή θα είναι μόνιμο πρόβλημα λόγω της ανοιχτής αρχιτεκτονικής και της συνεργασίας συσκευών. Η οικοδόμηση ενός ασφαλούς δικτύου 5G απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση μέσω standardization, υλοποίησης, ανάπτυξης και λειτουργιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ericsson, "Ericsson Mobility Report," tech. rep., June 2022.
- [2] Cisco, "Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper," tech. rep., February 2017.
- [3] X. Lin, J. Andrews, and A. Ghosh, "Spectrum sharing for device-to-device communication in cellular networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, no. 12, pp. 6727–6740, Dec. 2014.
- [4] Y.-D. Lin and Y.-C. Hsu, "Multihop cellular: A new architecture for wireless communications," in *Proceedings of IEEE INFOCOM*, vol. 3, 2000, pp. 1273–1282.
- [5] B. Kaufman and B. Aazhang, "Cellular networks with an overlaid device to device network," in *Proceedings of Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 2008, pp. 1537–1541.
- [6] C. Yu, K. Doppler, C. Ribeiro, and O. Tirkkonen, "Resource sharing optimization for device-to-device communication underlying cellular networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 8, pp. 2752–2763, Aug. 2011.
- [7] Agiwal, Mamta, Abhishek Roy, and Navrati Saxena. "Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 18.3 (2016): 1617-1655.
- [8] Navarro-Ortiz, Jorge, et al. "A survey on 5G usage scenarios and traffic models." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 22.2 (2020): 905-929.
- [9] Vitale, Christian, Vincenzo Mancuso, and Gianluca Rizzo. "Modelling D2D communications in cellular access networks via coupled processors." *2015 7th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS)*. IEEE, 2015.
- [10] Navarro-Ortiz, Jorge, et al. "A survey on 5G usage scenarios and traffic models." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 22.2 (2020): 905-929.
- [11] Pei, Yiyang, and Ying-Chang Liang. "Resource allocation for device-to-device communications overlaying two-way cellular networks." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 12.7 (2013): 3611-3621.
- [12] Lei, Lei, et al. "Operator controlled device-to-device communications in LTE-advanced networks." *IEEE Wireless Communications* 19.3 (2012): 96-104.
- [13] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. Soong, and J. C. Zhang, "What will 5G be?," *IEEE Journal on selected areas in communications*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, 2014.
- [14] Agiwal, Mamta, Abhishek Roy, and Navrati Saxena. "Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 18.3 (2016): 1617-1655.
- [15] Zhang, Long, et al. "A survey on 5G millimeter wave communications for UAV-assisted wireless networks." *IEEE Access* 7 (2019): 117460-117504.
- [16] Zhang, Jiayi, et al. "Cell-free massive MIMO: A new next-generation paradigm." *IEEE Access* 7 (2019): 99878-99888.
- [17] Björnson, Emil, Jakob Hoydis, and Luca Sanguinetti. "Massive MIMO has unlimited capacity." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 17.1 (2017): 574-590.
- [18] Feng, Daquan, et al. "Device-to-device communications underlying cellular networks." *IEEE Transactions on communications* 61.8 (2013): 3541-3551.

- [19] Vitale, Christian, Vincenzo Mancuso, and Gianluca Rizzo. "Modelling D2D communications in cellular access networks via coupled processors." 2015 7th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS). IEEE, 2015.
- [20] Zhou, Bin, et al. "Group-wise channel sensing and resource pre-allocation for LTE D2D on ISM band." 2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). IEEE, 2013.
- [21] Ying, Bidi, and Amiya Nayak. "A power-efficient and social-aware relay selection method for multi-hop D2D communications." IEEE Communications Letters 22.7 (2018): 1450-1453.
- [22] Bhushan, Naga, et al. "Network densification: the dominant theme for wireless evolution into 5G." IEEE Communications Magazine 52.2 (2014): 82-89.
- [23] Zhang, Yanru, et al. "Social network aware device-to-device communication in wireless networks." IEEE Transactions on Wireless Communications 14.1 (2014): 177-190.
- [24] Hoydis, Jakob, Stephan Ten Brink, and Mérouane Debbah. "Massive MIMO in the UL/DL of cellular networks: How many antennas do we need?." IEEE Journal on selected Areas in Communications 31.2 (2013): 160-171.
- [25] Fehske, Albrecht, et al. "The global footprint of mobile communications: The ecological and economic perspective." IEEE communications magazine 49.8 (2011): 55-62.
- [26] Niu, Yong, et al. "A survey of millimeter wave communications (mmWave) for 5G: opportunities and challenges." Wireless networks 21.8 (2015): 2657-2676.
- [27] Omar, Muhammad Shahmeer, et al. "Performance analysis of hybrid 5G cellular networks exploiting mmWave capabilities in suburban areas." 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC). IEEE, 2016.
- [28] Bouaziz, Maha, and Abderrezak Rachedi. "A survey on mobility management protocols in Wireless Sensor Networks based on 6LoWPAN technology." Computer Communications 74 (2016): 3-15.
- [29] Bopape, Lebogang P., Bakhe Nleya, and P. Khumalo. "A privacy and security preservation framework for D2D communication based smart grid services." 2020 Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS). IEEE, 2020.
- [30] Sarma, Subhra Sankha, and Ranjay Hazra. "Interference management for D2D communication in mmWave 5G network: An Alternate Offer Bargaining Game theory approach." 2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN). IEEE, 2020.
- [31] X. Wu, S. Tavildar, S. Shakkottai, T. Richardson, J. Li, R. Laroia, and A. Jovicic, "Flashlinq: A synchronous distributed scheduler for peer-to-peer ad hoc networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 21, pp. 1215–1228, June 2013.
- [32] 3GPP, "Feasibility study for proximity services (ProSe) (Release 12)," tech. rep., TR 22.803 V12.2.0, 2013.
- [33] 3GPP, "Study on architecture enhancements to support proximity services (ProSe) (Release 12)," tech. rep., TR 23.703, V1.0.0, 2013.
- [34] S. Research, "ProSe (Proximity Services) for LTE & 5G Networks: 2017 – 2030 Opportunities, Challenges, Strategies & Forecasts," tech. rep., January 2017.
- [35] Y. Liu, "Optimal Mode Selection in D2D-Enabled Multibase Station Systems," IEEE Commun. Lett., vol. 20, pp. 470–473, March 2016.

- [36] S. Maghsudi and D. Niyato, "On Transmission Mode Selection in D2D Enhanced Small Cell Networks," *IEEE Wireless Communication Letters*, vol. 6, pp. 618–621, October 2017.
- [37] C.-H. Yu, O. Tirkkonen, K. Doppler, and C. Ribeiro, "On the Performance of Device-to-Device Underlay Communication with Simple Power Control," in *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1–5, April 2009.
- [38] P. Jänis, C.-H. Yu, K. Doppler, C. Ribeiro, C. Wijting, K. Hugl, O. Tirkkonen, and V. Koivunen, "Device-to-device communication underlying cellular communications systems," *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, vol. 2, pp. 169–178, June 2009.
- [39] N. Lee, X. Lin, J. Andrews, and R. Heath, "Power Control for D2D Underlaid Cellular Networks: Modeling, Algorithms, and Analysis," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, pp. 1–13, January 2015.
- [40] A. Ramezani-Kebrya, M. Dong, B. Liang, G. Boudreau, and S. H. Seyedmehdi, "Joint Power Optimization for Device-to-Device Communication in Cellular Networks With Interference Control," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, pp. 5131–5146, August 2017.
- [41] M. Jung, K. Hwang, and S. Choi, "Joint Mode Selection and Power Allocation Scheme for Power-Efficient Device-to-Device (D2D) Communication," in *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1–5, May 2012.
- [42] M. Azam, M. Ahmad, M. Naeem, M. Iqbal, A. S. Khwaja, A. Anpalagan, and S. Qaisar, "Joint Admission Control, Mode Selection, and Power Allocation in D2D Communication Systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, pp. 7322–7333, September 2016.
- [43] N. Giatsoglou, A. Antonopoulos, E. Kartsakli, J. Vardakas, and C. Verikoukis, "Transmission Policies for Interference Management in Full-Duplex D2D Communication," in *IEEE Global Communications Conference*, pp. 1–6, December 2016.
- [44] C. Liu, T. Lv, W. Tang, H. Gao, and Y. Lu, "On the performance of mode selection for hybrid-duplex D2D communications," in *IEEE Military Communications Conference*, pp. 852–857, October 2017.
- [45] J. Xue, M. Sellathurai, T. Ratnarajah, and Z. Ding, "Performance Analysis for Multi-Way Relaying in Rician Fading Channels," *IEEE Transaction on Communications*, vol. 63, pp. 4050–4062, November 2015.
- [46] G. Fodor and N. Reidner, "A distributed power control scheme for cellular network assisted D2D communications," in *Proc. IEEE Global Telecommun. Conf. (GLOBECOM)*, Houston, TX, Dec. 2011.
- [47] Feng, D., et al. (2015). "Mode switching for energy-efficient device-to-device communications in cellular networks." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 14(12): 6993-7003.
- [48] Schaich, F., & Wild, T. (2014, May). Waveform contenders for 5G—OFDM vs. FBMC vs. UFMC. In *Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP)*, 2014 6th International Symposium on (pp. 457-460). IEEE.
- [49] "Introduction of Mobile Ad hoc Network (MANET)", 08 Nov, 2021 Available :<https://www.geeksforgeeks.org/introduction-of-mobile-ad-hoc-network-manet/>
- [50] 3GPP, "Technical Specification Group Services; Proximity-based services (ProSe), Release 17" tech. rep., December 2021

- [51] J. Jiang, S. Zhang, B. Li, and B. Li. Maximized cellular traffic offloading via device-to-device content sharing. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(1):82–91, Jan. 2016.
- [52] Avinash Srinivasan, Joshua Teitelbaum, Jie Wu, Mihaela Cardei, and Huigang Liang. *Reputation-and-Trust-Based Systems for Ad Hoc Networks*, pages 375–403. John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [53] Y. Pei and Y.-C. Liang, "Resource allocation for device-to-device communications overlaying two-way cellular networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 7, pp. 3611–3621, 2013.
- [54] GSMA, "Remote SIM Provisioning for Machine to Machine," [Online]. Available: <http://www.gsma.com/connectedliving/embedded-sim/>
- [55] Zheng Ma, ZhengQuan Zhang, ZhiGuo Ding, PingZhi Fan, and HengChao Li. Key techniques for 5g wireless communications: network architecture, physical layer, and mac layer perspectives. *Science China Information Sciences*, 58(4):1–20, 2015.
- [56] Wikipedia "C-RAN" [Online] Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/C-RAN>
- [57] Mugen Peng, Chonggang Wang, V. Lau, and H.V. Poor. Fronthaul-constrained cloud radio access networks: insights and challenges. *Wireless Communications, IEEE*, 22(2):152–160, April 2015.
- [58] H. Bagheri, M. Katz, F. H. P. Fitzek, D. E. Lucani, and M. V. Pedersen. *D2D-Based Mobile Clouds for Energy- and Spectral-Efficient Content Distribution*. Springer, Apr. 06 2014.
- [59] Zhang, A., Chen, J., Hu, R. et al: 'SeDS: secure data sharing strategy for D2D communication in LTE-Advanced networks', *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 2016, 65, (4), pp. 2659– 2672
- [60] Haus, M., Waqas, M., Ding, A.Y. et al: 'Security and privacy in device-to-device (D2D) communication: a review', *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, 2017, 19, (2), pp. 1054– 1079
- [61] Jiang, S. Zhang, B. Li, and B. Li. Maximized cellular traffic offload ing via device-to-device content sharing. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(1):82–91, Jan. 2016.