



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

<ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ>

<DEVICE TO DEVICE>

<ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ>

A.M <1058087>

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	3,4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	9
2.1 INBAND	9
2.2 OUTBAND	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:CELLURAL NETWORKS AND D2D	11
3.1 UNDERLAYING INBAND	11
3.2 OVERLAYING INBAND	17
3.3 ΚΟΙΝΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	20
3.4 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΥΝΑΜΗΣ	21
3.5 ΑΠΟΔΟΣΗ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ QOS/POWER	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ D2D ΣΤΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΚΟΣΜΟ	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΙΛΟΓΟΣ	27
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	29

AKRONYMIA

ACK - Acknowledgement
APP – Application
BPSK – Binary Phase Shift Keying
CEU – Cellular Edge User
CP – Cyclic Prefix
CSMA – Carrier-sense Multiple Access
D2D – Device to device
DEU – D2D Edge User
DFFR – Dynamic Fractional Frequency Reuse
DFT – Discrete Fourier Transform
DL - Downlink
EPC – Evolved Packet Core
EU – Edge User
FDD – Frequency Division Duplex
FFR – Fractional Frequency Reuse
FRF – Frequency Reuse Factor
HSS – Home Subscriber Server
IAR – Interference Avoidance Request
ICI – Inter Cell Interference
IDFT – Inverse Discrete Fourier Transform
INR – Interference to Noise Ratio
LR – Long Range
LTE – Long Term Evolution
MAC – Medium Access Control
MBS – Macrocell Base Station
NFC – Near Field Communication
OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing PBCH –P-SS – Primary Synchronization Signal
QoS – Quality of Service
QPSK – Quaternary Phase Shift Keying
RB – Resource Block
RS – Reference Signal
SBs – Subcarrier Bands
SC-FDMA – Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SFR – Soft Frequency Reuse
SIC – Successive Interference Cancellation
SNR – Signal to Noise Ratio
SR – Sort Range
S-SS – Secondary Synchronization Signal
TTI – Transmission Time Intervals
UE – User Equipment
UL - Uplink
WiFi – Wireless Fidelity
WLAN – Wireless Local Area Network

3GPP – 3rd Generation Partnership Project
16-QAM – 16 level Quadrature Amplitude Modulation

PCFICH – Physical Control Format Indicator Channel PDCCH – Physical Downlink Control Channel
PDN – Packet Data Network PF – Proportional Fair
PHICH – Physical Hybrid automatic repeat request Indicator Channel PLMN – Public Land Mobile Network
PRB – Physical Resource Blocks
PSB – Priority Subbands
P-SS – Primary Synchronization Signal
QoS – Quality of Service
QPSK – Quaternary Phase Shift Keying
RB – Resource Block
RS – Reference Signal
SBs – Subcarrier Bands
SC-FDMA – Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SFR – Soft Frequency Reuse
SIC – Successive Interference Cancellation
SNR – Signal to Noise Ratio
SR – Sort Range
S-SS – Secondary Synchronization Signal
TTI – Transmission Time Intervals
UE – User Equipment
UL - Uplink
WiFi – Wireless Fidelity
WLAN – Wireless Local Area Network
3GPP – 3rd Generation Partnership Project
16-QAM – 16 level Quadrature Amplitude Modulation

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επικοινωνία από συσκευή σε συσκευή (D2D) προτάθηκε αρχικά στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ως ένα νέο πρότυπο για τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Η εμφάνιση νέων εφαρμογών, όπως η διανομή περιεχομένου και η διαφήμιση με επίγνωση θέσης, εισήγαγε νέες περιπτώσεις χρήσης για επικοινωνίες D2D σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Οι αρχικές μελέτες έδειξαν ότι η επικοινωνία D2D έχει πλεονεκτήματα όπως αυξημένη φασματική απόδοση και μειωμένη καθυστέρηση επικοινωνίας. Ωστόσο, αυτή η λειτουργία επικοινωνίας εισάγει επιπλοκές από την άποψη του ελέγχου παρεμβολών καθώς γενικά τα πρωτόκολλα εξακολουθούν να παρουσιάζουν συνεχώς προβλήματα. Η σκοπιμότητα των επικοινωνιών D2D στο LTE-A μελετάται από την ακαδημαϊκή κοινότητα, τη βιομηχανία, και τους φορείς τυποποίησης. Σε αυτή την εργασία, παρέχουμε μια ταξινόμηση με βάση το D2D επικοινωνιακό φάσμα και τη διαθέσιμη βιβλιογραφία εκτενώς στο πλαίσιο της προτεινόμενης ταξινόμησης. Επιπλέον, παρέχουμε νέες πληροφορίες σχετικά με τους ενδιαφερόμενους τομείς που μας οδηγούν στον εντοπισμό ανοιχτών ερευνητικών προβλημάτων της επικοινωνίας D2D .

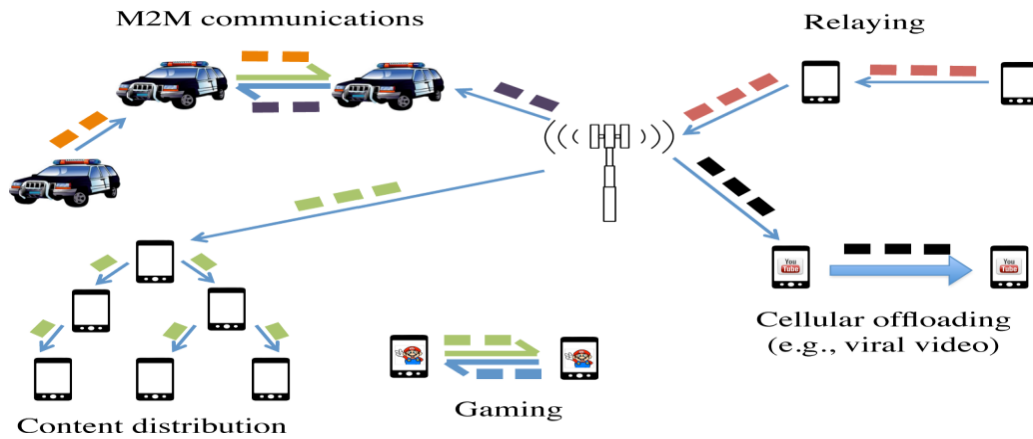
Καθώς οι φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών αγωνίζονται να ανταποκριθούν στην υπάρχουσα ζήτηση των χρηστών κινητών συσκευών, εμφανίζονται νέες εφαρμογές δεδομένων στην καθημερινή ρουτίνα των χρηστών κινητών συσκευών (π.χ. υπηρεσίες με επίγνωση της εγγύτητας). Επιπλέον, οι τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας 4G (WiMAX [1] και LTE-A [2]), οι οποίες έχουν εξαιρετικά αποτελεσματική φυσική απόδοση και απόδοση επιπέδου MAC, εξακολουθούν να υστερούν σε σχέση με την ανερχόμενη ζήτηση δεδομένων των χρηστών κινητών συσκευών. Ως εκ τούτου, οι ερευνητές αναζητούν νέα παραδείγματα για να φέρουν επανάσταση στις παραδοσιακές μεθόδους επικοινωνίας των κυτταρικών δικτύων. Η Device-to-Device (D2D) επικοινωνία είναι ένα από αυτά τα παραδείγματα που φαίνεται να απασχολεί την επόμενη γενιά στα κυψελωτά δίκτυα.

Στον ακαδημαϊκό χώρο, η επικοινωνία D2D προτάθηκε για πρώτη φορά στο [3] για να επιτρέψει την αναμετάδοση πολλαπλών διοδών σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Αργότερα, τα έργα στο [4]–[8] διερεύνησαν τις δυνατότητες των επικοινωνιών D2D για τη βελτίωση της φασματικής αποτελεσματικότητας των κυψελωτών δικτύων. Αμέσως

μετά, εισήχθησαν στη βιβλιογραφία άλλες πιθανές περιπτώσεις χρήσης D2D, όπως η πολλαπλή διανομή [9], [10], η επικοινωνία μεταξύ ομοτίμων [11], η διάδοση βίντεο [5], [12]–[14], η επικοινωνία με τη μηχανή (M2M) [15], η μείωση της λειτουργίας των κυττάρων [16] και ούτω καθεξής. Οι πιο δημοφιλείς περιπτώσεις χρήσης των επικοινωνιών D2D εμφανίζονται στην καθημερινότητα μας. Η πρώτη προσπάθεια για την εφαρμογή της επικοινωνίας D2D σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας έγινε από FlashLinQ της Qualcomm [17], η οποία είναι μια αρχιτεκτονική δικτύου PHY / MAC για D2D επικοινωνίες που υποστρώνουν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Το FlashLinQ εκμεταλλεύεται τις τεχνολογίες OFDM/OFDMA και τον καταναμημένο προγραμματισμό για να δημιουργήσει μια αποτελεσματική μέθοδο για το συγχρονισμό χρονισμού, τον εντοπισμό ομοτίμων και τη διαχείριση συνδέσεων σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας με δυνατότητα D2D. Εκτός από την ακαδημαϊκή κοινότητα και τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών, 3GPP ερευνά επίσης D2D επικοινωνίες ως Υπηρεσίες Εγγύτητας (ProSe). Ειδικότερα, η σκοπιμότητα της ProSe και των περιπτώσεων χρήσης της σε LTE μελετάται σε [18] και οι απαιτούμενες αρχιτεκτονικές βελτιώσεις για την κάλυψη τέτοιων περιπτώσεων χρήσης διερευνώνται στο [19]. Επί του παρόντος, το ProSe υποτίθεται ότι θα συμπεριληφθεί στην έκδοση 12 του 3GPP ως χαρακτηριστικό του δικτύου δημόσιας ασφάλειας με έμφαση σε μία έως πολλές επικοινωνίες [19]. Μια σύντομη επισκόπηση των δραστηριοτήτων τυποποίησης και των βασικών αρχών του 3GPP ProSe βρίσκεται στο [20].

Η πλειοψηφία της βιβλιογραφίας σχετικά με τις επικοινωνίες D2D προτείνει τη χρήση του κυτταρικού φάσματος κυρίως για d2D και κυψελοειδείς επικοινωνίες (δηλαδή, *underlay inband D2D*). Αυτές οι εργασίες μελετούν συνήθως το πρόβλημα του μετριασμού παρεμβολών μεταξύ D2D και της κυτταρικής επικοινωνίας [8], [21]–[28]. Για να αποφευχθεί το προαναφερθέν ζήτημα παρεμβολής, ορισμένοι προτείνουν να αφιερώσετε μέρος των πόρων κινητής τηλεφωνίας μόνο σε επικοινωνίες D2D (δηλαδή, *επικάλυψη inband D2D*). Εδώ η κατανομή των πόρων αποκτά ύψιστη σημασία, έτσι ώστε οι ειδικοί πόροι κινητής τηλεφωνίας να μην σπαταληθούν [29]. Άλλοι ερευνητές προτείνουν να υιοθετήσουν *outband* και όχι *inband* D2D επικοινωνίες σε κυψελοειδή δίκτυα, έτσι ώστε το πολύτιμο κυτταρικό φάσμα να μην επηρεάζεται από d2D επικοινωνίες. Στις επικοινωνίες εκτός ζώνης, ο συντονισμός μεταξύ των ραδιοσυνδέσεων ελέγχεται είτε από το BS (δηλαδή *ελεγχόμενο*) είτε από τους ίδιους τους

χρήστες (δηλαδή, αυτόνομο). *Outband D2D* επικοινωνία αντιμετωπίζει μερικές προκλήσεις στο συντονισμό της επικοινωνίας πάνω από δύο διαφορετικές ζώνες, επειδή συνήθως *D2D* επικοινωνία συμβαίνει σε μια δεύτερη διεπαφή ραδιοφώνου (π.χ., *WiFi Direct* [30] και *Bluetooth* [30]). Οι μελέτες για *outband D2D* διερευνήσει θέματα όπως η κατανάλωση ενέργειας [30]-[30] και δια-τεχνολογία αρχιτεκτονικό σχεδιασμό.



Εικόνα 1 Παραδείγματα χρήσης *D2D* στην καθημερινότητα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

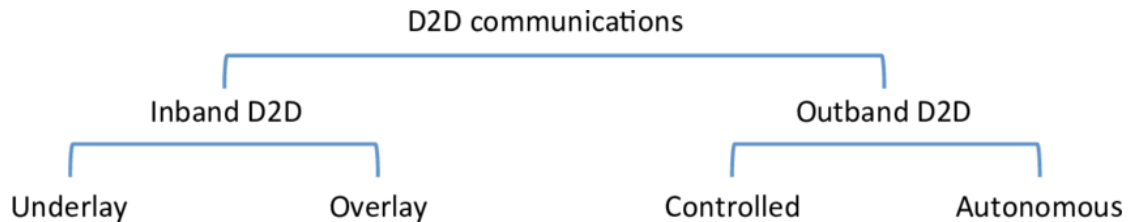
Σε αυτήν την ενότητα, κατηγοριοποιούμε τη διαθέσιμη βιβλιογραφία σχετικά με την επικοινωνία *D2D* σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας με βάση το φάσμα στο οποίο πραγματοποιείται η επικοινωνία *D2D*. Στην παρακάτω υποενότητα παρέχουμε έναν επίσημο ορισμό για κάθε κατηγορία και υποκατηγορία. Στη συνέχεια, παρέχουμε μια γρήγορη επισκόπηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων κάθε μεθόδου *D2D*.

Inband D2D: Η βιβλιογραφία κάτω από αυτή την κατηγορία, η οποία περιέχει την πλειοψηφία των διαθέσιμων εργασιών, προτείνει τη χρήση του κυτταρικού φάσματος κυρίως για *D2D* κυτταρικές συνδέσεις. Το κίνητρο για την επιλογή της επικοινωνίας *inband* είναι συνήθως ο υψηλός έλεγχος του κυτταρικού (δηλ., αδειοδοτημένων) φάσματος. Μερικοί ερευνητές (βλέπε, π.χ., [28], [10]) θεωρούν ότι η παρεμβολή στο μη αδειοδοτημένο φάσμα είναι ανεξέλεγκτη, γεγονός που επιβάλλει

περιορισμούς για την προμήθεια QoS. Η επικοινωνία inband μπορεί να διαιρεθεί περαιτέρω σε κατηγορίες υποστρώματος και επικάλυψης. Σε underlay D2D επικοινωνία, κυψελοειδή και D2D επικοινωνίες μοιράζονται τους ίδιους πόρους ραδιοφώνου. Αντίθετα, οι συνδέσεις D2D στην επικοινωνία επικάλυψης παρέχονται αποκλειστικά πόροι κινητής τηλεφωνίας. Το Inband D2D μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα του φάσματος των κυψελών δικτύων με την επαναχρησιμοποίηση των πόρων ραδιοφάσματος (π.χ. υπό την κατανομή) ή την κατανομή ειδικών πόρων κινητής τηλεφωνίας σε χρήστες D2D που εξυπηρετούν την άμεση σύνδεση μεταξύ του πομπού και του δέκτη (π.χ. επικάλυψη). Το βασικό μειονέκτημα του inband D2D είναι η παρεμβολή που προκαλείται από τους χρήστες D2D στις κυψελοειδείς επικοινωνίες και αντίστροφα. Αυτή η παρεμβολή μπορεί να μετριαστεί με την εισαγωγή μεθόδων εκχώρησης πόρων υψηλής πολυπλοκότητας, οι οποίες αυξάνουν την υπολογιστική επιβάρυνση των χρηστών BS ή D2D.

Outband D2D: Εδώ οι συνδέσεις D2D εκμεταλλεύονται χωρίς άδεια φάσματος. Το κίνητρο πίσω από τη χρήση outband D2D επικοινωνίας είναι να εξαλειφθεί το ζήτημα παρεμβολής μεταξύ D2D και κυτταρικής σύνδεσης. Η χρήση του φάσματος χωρίς άδεια χρήσης απαιτεί μια επιπλέον διεπαφή και συνήθως υιοθετεί άλλες ασύρματες τεχνολογίες όπως το WiFi Direct [30], το ZigBee [43] ή το Bluetooth [26]. Ορισμένες από τις εργασίες για την outband D2D (βλέπε, π.χ., [12], [13], [24], [27]) προτείνουν να δοθεί ο έλεγχος της δεύτερης διεπαφής/τεχνολογίας στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (δηλαδή ελεγχόμενος). Αντίθετα, άλλοι (βλέπε, π.χ., [18]) προτείνουν να διατηρήσουν τις επικοινωνίες κινητής τηλεφωνίας ελεγχόμενες και να αφήσουν τις επικοινωνίες D2D στους χρήστες (π.χ. αυτόνομες). Το Outband D2D χρησιμοποιεί χωρίς άδεια φάσμα που καθιστά το ζήτημα παρεμβολής μεταξύ D2D και κυψελοειδείς χρήστες άνευ σημασίας. Από την άλλη πλευρά, τα outband D2D μπορεί να υποφέρουν από την ανεξέλεγκτη χρήση του φάσματος χωρίς άδεια. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μόνο οι συσκευές κινητής τηλεφωνίας με δύο ασύρματες διασυνδέσεις (π.χ., LTE και WiFi) μπορούν να χρησιμοποιήσουν outband D2D, και έτσι οι χρήστες μπορούν να έχουν ταυτόχρονη D2D και κυψελοειδείς επικοινωνίες.

Η εικόνα 1 απεικονίζει την ταξινόμηση που εισάγεται για τις επικοινωνίες D2D στα κυψελοειδή δίκτυα. Στις ακόλουθες ενότητες, εξετάζουμε τη σχετική βιβλιογραφία με βάση αυτήν την ταξινόμηση.



Εικόνα 2 Ταξινόμηση D2D

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : CELLULAR NETWORKS AND D2D COMMUNICATION

Οι πρώτες επιστημονικές εργασίες σε D2D δίκτυα κινητής τηλεφωνίας προτείνουν την επαναχρησιμοποίηση του κυτταρικού φάσματος. Μέχρι σήμερα, η πλειοψηφία των διαθέσιμων βιβλιογραφιών είναι επίσης αφιερωμένη στην inband D2D. Σε αυτήν την ενότητα, εξετάζουμε τις περιπτώσεις που χρησιμοποιούν τη βάση D2D για να βελτιώσουν την απόδοση των κυψελωτών δικτύων, από άποψη αποδοτικότητας φάσματος, ενεργειακής αποδοτικότητας, κυτταρικής κάλυψης, και άλλων στόχων απόδοσης.

1.1 UNDERLAYING INBAND D2D

Αποδοτικότητα φάσματος

Με την εκμετάλλευση της χωρικής ποικιλομορφίας υποστρώματος, το inband D2D είναι σε θέση να αυξήσει την αποτελεσματικότητα του κυτταρικού φάσματος. Αυτό μπορεί να γίνει με τη σωστή διαχείριση παρεμβολών, την επιλογή τρόπου, την κατανομή των πόρων και με τη χρήση κωδικοποίησης δικτύου.

Η παρεμβολή μεταξύ των επικοινωνιών κινητής τηλεφωνίας και D2D είναι το πιο σημαντικό ζήτημα του υποστρώματος των επικοινωνιών D2D. Οι καλοί αλγόριθμοι διαχείρισης παρεμβολών μπορούν να αυξήσουν την ικανότητα του συστήματος και έχουν προσελκύσει μεγάλη προσοχή [4], [8], [23], [26], [27], [12], [25]. Οι συντάκτες του [4] μελετούν για να χρησιμοποιήσουν τους κυψελοειδείς πόρους uplink για τις επικοινωνίες D2D. Δεδομένου ότι η εκ νέου χρήση των πόρων uplink για τους χρήστες D2D μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές σε κυψελοειδείς μεταδόσεις uplink στο BS, D2D χρήστες παρακολουθούν τη λήψη ισχύος των σημάτων ελέγχου downlink για την εκτίμηση του pathloss μεταξύ D2D πομπό και BS. Αυτό βοηθά τους χρήστες D2D να διατηρήσουν την ισχύ μετάδοσης κάτω από ένα όριο για να αποφευχθεί η υψηλή παρεμβολή στους χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Εάν η απαιτούμενη ισχύς μετάδοσης για μια σύνδεση D2D είναι υψηλότερη από το ελάχιστο όριο e_{inc} , δεν επιτρέπεται η μετάδοση D2D. Οι συντάκτες προτείνουν επίσης να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος δρομολόγησης δυναμικής προέλευσης [9] για τη δρομολόγηση μεταξύ των χρηστών D2D σε περίπτωση επικοινωνιών πολλαπλών λυκίσκου. Οι προσομοιώσεις δείχνουν ότι η πιθανότητα να έχουν D2D συνδέσεις αυξάνει ισχυρά τη pathloss συνιστώσα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όσο ισχυρότερη είναι η απώλεια της διαδρομής, τόσο πιο αδύναμη είναι η παρεμβολή που προκαλείται από d2D μετάδοση στο BS. Στο [8], οι συγγραφείς μελετούν επίσης την παρεμβολή uplink μεταξύ D2D και κυτταρικών χρηστών και προτείνουν δύο μηχανισμούς για την αποφυγή παρεμβολών από χρήστες κινητής τηλεφωνίας σε χρήστες D2D και το αντίστροφο. Για να μειώσουν τις παρεμβολές από χρήστες κινητής τηλεφωνίας σε επικοινωνίες D2D, οι χρήστες D2D διαβάζουν τις πληροφορίες εκχώρησης μπλοκ πόρων από το κανάλι ελέγχου. Επομένως, μπορούν να αποφύγουν τη χρήση μπλοκ πόρων που χρησιμοποιούνται από τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας στην εγγύτητα. Οι συντάκτες προτείνουν να μεταδοθεί η αναμενόμενη παρέμβαση από την επικοινωνία D2D σε ένα μπλοκ πόρων κινητής τηλεφωνίας σε όλους τους χρήστες D2D. Ως εκ τούτου, οι χρήστες D2D μπορούν να προσαρμόσουν την επιλογή ισχύος μετάδοσης και μπλοκ πόρων τους κατά τρόπο ώστε η παρεμβολή από την επικοινωνία D2D στη μετάδοση uplink να είναι κάτω από το ανεκτό όριο. Οι συγγραφείς δείχνουν μέσω προσομοίωσης ότι οι προτεινόμενοι μηχανισμοί βελτιώνουν την απόδοση του συστήματος κατά 41%.

Zhang et al. [25] προτείνει μια μέθοδο κατανομής πόρων βάσει γραφήματος για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας με υπόστρωμα επικοινωνίας D2D. Διαμορφώνουν

μαθηματικά τη βέλτιστη κατανομή των πόρων ως ένα μη γραμμικό πρόβλημα που είναι NP-Hard. Οι συντάκτες προτείνουν μια προσέγγιση που βασίζεται σε μη βέλτιστα γραφήματα, η οποία εξηγεί τις παρεμβολές και τη χωρητικότητα του δικτύου. Στο προτεινόμενο γράφημά τους, κάθε κορυφή αντιπροσωπεύει μια σύνδεση (D2D ή cellular) και κάθε άκρη που συνδέει δύο κορυφές δείχνει την πιθανή παρεμβολή μεταξύ των δύο συνδέσεων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η προσέγγιση που βασίζεται σε γράφημα εκτελεί σχεδόν τη βέλτιστη εκχώρηση πόρων.

Στο [23], σχεδιάζεται ένα νέο σύστημα ακύρωσης παρεμβολών με βάση τη θέση των χρηστών. Οι συγγραφείς προτείνουν να διαθέσει ένα ειδικό κανάλι control για D2D χρήστες. Οι χρήστες κινητής τηλεφωνίας ακούν αυτό το κανάλι και μετρούν το SINR. Εάν το SINR είναι υψηλότερο από ένα προκαθορισμένο όριο, αποστέλλεται μια αναφορά στο eNB. Κατά συνέπεια, το eNB σταματά τον προγραμματισμό των χρηστών κινητής τηλεφωνίας στα μπλοκ πόρων που είναι currently και καταλαμβάνεται από χρήστες D2D. Το eNB αποστέλλει επίσης πληροφορίες μετάδοσης σχετικά με τη θέση των χρηστών και τα μπλοκ πόρων που τους έχουν εκχωρηθεί. Ως εκ τούτου, οι χρήστες D2D μπορούν να αποφύγουν τη χρήση μπλοκ πόρων που παρεμβαίνουν με τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι το σύστημα ακύρωσης παρεμβολών μπορεί να αυξήσει τη μέση ταχύτητα μετάδοσης του συστήματος έως και 374% σε σύγκριση με το σενάριο χωρίς ακύρωση παρεμβολής. Επίσης είναι υπαρκτό και το σενάριο να αντιμετωπίσουν μια παρόμοια λύση στο [26], όπου οι χρήστες D2D μετρούν επίσης το σήμα των χρηστών κινητής τηλεφωνίας και ενημερώνουν το BS για τις τιμές αυτές. Στη συνέχεια, το BS αποφεύγει την κατανομή της ίδιας υποδοχής χρόνου συχνότητας στους χρήστες κινητής τηλεφωνίας και D2D, οι οποίοι έχουν έντονες παρεμβολές μεταξύ τους, και η οποία είναι διαφορετική. Το προτεινόμενο σύστημα [26] ελαχιστοποιεί τη μέγιστη λαμβανόμενη ισχύ σε ζεύγη D2D από χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Οι συγγραφείς δείχνουν πρώτα μέσω αριθμητικών αποτελεσμάτων ότι οι επικοινωνίες D2D με τυχαία κατανομή πόρων μπορούν να αυξήσουν τη μέση χωρητικότητα των κυττάρων σε σχέση με ένα συμβατικό κυτταρικό σύστημα κατά 230%. Στη συνέχεια, δείχνουν ότι το προτεινόμενο σύστημα κατανομής πόρων με επίγνωση των παρεμβάσεων επιτυγχάνει 30% μεγαλύτερο κέρδος παραγωγικής ικανότητας από την τυχαία στρατηγική κατανομής πόρων.

Οι εργασίες στο [27] προτείνουν μια νέα διαχείριση παρεμβολών στην οποία η παρεμβολή δεν ελέγχεται με τον περιορισμό της ισχύος μετάδοσης D2D όπως στους συμβατικούς μηχανισμούς διαχείρισης παρεμβολών D2D. Το προτεινόμενο σύστημα ορίζει μια περιορισμένη περιοχή παρεμβολής i n , την οποία κανένας χρήστης κινητής τηλεφωνίας δεν μπορεί να καταλάβει τους ίδιους πόρους με το ζεύγος D2D. Επομένως, αποφεύγεται η παρεμβολή μεταξύ του ζεύγους D2D και των χρηστών κινητής τηλεφωνίας. Το μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι η μείωση της ποικιλομορφίας των πολλών χρηστών, επειδή ο φυσικός διαχωρισμός είναι οι εναλλακτικές λύσεις προγραμματισμού για το BS. Ωστόσο, οι αριθμητικές προσομοιώσεις αποδεικνύουν ότι η απώλεια παραγωγικής ικανότητας λόγω της μείωσης της ποικιλομορφίας των πολλών χρηστών είναι αμελητέα σε σύγκριση με το κέρδος που επιτυγχάνεται με την πρότασή τους. Στην πραγματικότητα, η πρόταση αυτή παρέχει κέρδος 129% σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα διαχείρισης των παρεμβάσεων. Παρόμοια μέθοδος εξετάζεται επίσης στο [44], όπου σχηματίζονται περιορισμένες περιοχές παρεμβολής ανάλογα με την ποσότητα των ανεκτών παρεμβολών και τις ελάχιστες απαιτήσεις SINR για επιτυχή μετάδοση. Το προτεινόμενο καθεστώς συνίσταται: ii) στον καθορισμό περιορισμένων περιοχών παρεμβολής όπου οι χρήστες κινητής τηλεφωνίας και D2D δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον ίδιο πόρο και iii) στην κατανομή των πόρων κατά τρόπο που οι χρήστες D2D και κινητής τηλεφωνίας εντός της ίδιας περιοχής παρεμβολών χρησιμοποιούν διαφορετικούς πόρους. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι το προτεινόμενο σύστημα λειτουργεί σχεδόν εξίσου καλά με το Ανώτατο Ποσοστό [17] και καλύτερο από τα συμβατικά συστήματα D2D.

[15] Προτείνεται να χρησιμοποιήσετε τις τεχνικές διαχωρισμού ποσοστού Han-Kobayashi [18] για να βελτιώσετε την απόδοση των επικοινωνιών D2D. Στο διαχωρισμό των επιτοκίων, το μήνυμα χωρίζεται σε δύο μέρη, δηλαδή ιδιωτικά και δημόσια. Το ιδιωτικό μέρος, όπως υποδηλώνει το όνομα, μπορεί να αποκωδικοποιηθεί μόνο από τον προβλεπόμενο δέκτη και το δημόσιο μέρος μπορεί να αποκωδικοποιηθεί από οποιονδήποτε δέκτη. Αυτή η τεχνική βοηθά τα θύματα παρεμβολής D2D να ακυρώσουν την παρέμβαση από το δημόσιο μέρος του μηνύματος εκτελώντας έναν διαδοχικό αλγόριθμο ακύρωσης παρεμβολών καλύτερης προσπάθειας [19]. Οι συγγραφείς επίσης αναλυτικά λύνουν το πρόβλημα του συντελεστή διάσπασης σε ένα σενάριο με δύο παρεμβαίνοντα links. Τέλος, δείχνουν μέσω αριθμητικών προσομοιώσεων ότι η πρόταση διαχωρισμού των ποσοστών τους αυξάνει την απόδοση

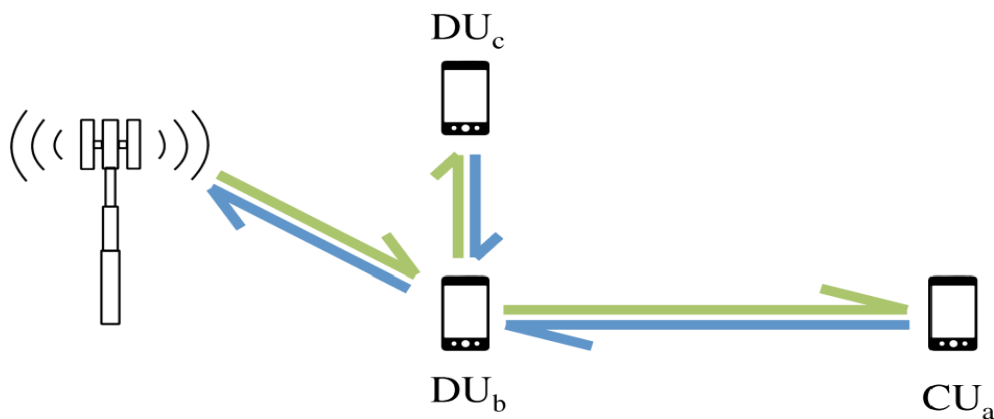
των κυττάρων έως και 650% υψηλότερη όταν το ζεύγος D2D τοποθετείται μακριά από το BS και κοντά το ένα στο άλλο.

Doppler et al. μελέτη διαφόρων πτυχών των επικοινωνιών D2D σε κυτταρικά δίκτυα στο [5], [6], [10], [11]. Μελετούν τη διαχείριση της συνεδρίας και των παρεμβολών στις επικοινωνίες D2D ως υπόστρωμα σε δίκτυα LTE-A στο [5]. Σε αυτό το έργο, συζητούν κυρίως τις έννοιες του D2D και παρέχουν ένα πρωτόκολλο πρώτης τάξης για την απαραίτητη λειτουργικότητα και σηματοδότηση. Χρησιμοποιούν αριθμητικές προσομοιώσεις για να δείξουν ότι τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας με δυνατότητα D2D μπορούν να επιτύχουν έως και 65% υψηλότερη απόδοση από τα συμβατικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Στο [50], μελετούν το πρόβλημα της επιλογής τρόπου (δηλ., cellular ή D2D) στα κυψελοειδή δίκτυα LDEA. Προτείνουν να εκτιμηθεί ο εφικτός ρυθμός μετάδοσης σε κάθε τρόπο, χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις καναλιών που εκτελούνται από τους χρήστες. Μετά την εκτίμηση της ταχύτητας, κάθε χρήστης επιλέγει τη λειτουργία που έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερου ρυθμό αποστολής σε κάθε εποχή προγραμματισμού. Οι προσομοιώσεις δείχνουν ότι η πρότασή τους έχει 50% κέρδος στην απόδοση του συστήματος πάνω από τις συμβατικές κυψελοειδείς επικοινωνίες.

Για να βελτιωθεί η ικανότητα των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, οι συντάκτες του [12] προτείνουν ένα κοινό σύστημα επικοινωνίας με την D2D και την κωδικοποίηση δικτύου. Θεωρούν τα δίκτυα συνεργασίας [13], [14], όπου η επικοινωνία D2D χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή μηνυμάτων ανερχόμενης ζεύξης μεταξύ χρηστών κινητής τηλεφωνίας πριν από τη διαβίβαση των μηνυμάτων στο BS. Για παράδειγμα, οι χρήστες κινητής τηλεφωνίας a και b ανταλλάσσουν τα δεδομένα exchange the ανερχόμενης ζεύξης υπερύθρων μέσω της σύνδεσης D2D. Στη συνέχεια, κάθε χρήστης στέλνει τα κωδικοποιημένα δεδομένα που περιέχουν τα αρχικά δεδομένα και από τους δύο χρήστες στο BS. Εδώ, η παρεμβολή ελέγχεται χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο παρεμβολής που προτείνεται στο [26]. Δείχνουν ότι η τυχαία επιλογή των χρηστών δεν είναι αποτελεσματική, διότι ο συνδυασμός των ιδιοτήτων καναλιών των χρηστών μπορεί να μην είναι κατάλληλος για κωδικοποίηση δικτύου. Για να ξεπεραστεί αυτή η αναποτελεσματικότητα, προτείνουν να ομαδοποιηθούν οι χρήστες με συμπληρωματικά χαρακτηριστικά για να βελτιώσουν την απόδοση της κωδικοποίησης

του δικτύου. Χρησιμοποιώντας αριθμητική προσομοίωση, δείχνουν ότι η πρότασή τους αυξάνει την ικανότητα κατά 34% και 16%, σε σύγκριση με τυχαία επιλογή και αποκωδικοποιήσει-και-προς τα εμπρός συστήματα αναμετάδοσης, αντίστοιχα. Επιπλέον, δείχνουν ότι η δυνατότητα πολλαπλών κεραιών μειώνει την επίδραση των παρεμβολών από το BS και αυξάνει τον αριθμό των χρηστών D2D κατά 30%.

Οι συντάκτες του [29] εξετάζουν ένα σενάριο ενός κελιού που περιλαμβάνει έναν χρήστη κινητής τηλεφωνίας (CU_a) και ένα ζεύγος D2D (DU_b και DU_c). DU_b και DU_c επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της σύνδεσης D2D ένα dCU_a επικοινωνεί με το BS χρησιμοποιώντας το DU_b ως ρελέ (βλ. Εικ. 4). Ο ρελέ (δηλαδή, DU_b) μπορεί να επικοινωνεί αμφίδρομα με τον άλλο χρήστη D2D DU_c, καθώς και βοηθώντας τη μετάδοση μεταξύ του BS και του κυτταρικού χρήστη CU_a. Ο χρόνος διαιρείται σε δύο διαφορετικές περιόδους: ii) κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου, du_c και είτε το BS ή cu_a αποστολή δεδομένων στο DU_b ταυτόχρονα· και iii) κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου, η DU_b αποστέλλει δεδομένα στο DU_c και είτε στο BS είτε στο UD ή στο CU_a. Οι συγγραφείς διερευνούν την εφικτή περιοχή χωρητικότητας του ουε D2D και της κυτταρικής σύνδεσης. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι με τη ρύθμιση της ισχύος του BS και της κυτταρικής συσκευής, η περιοχή της περιοχής χωρητικότητας της σύνδεσης D2D και της σύνδεσης BS-συσκευής μπορεί να διευρυνθεί έως και κατά 60%..



Εικ. 3: Το σενάριο αξιολόγησης [29]. Το κελί περιλαμβάνει ένα ζεύγος D2D (π.χ. DU_b και DU_c) και έναν χρήστη κινητής τηλεφωνίας (π.χ. CU_a).

Xu et al. Στο [25] εξετάστε τη βελτιστοποίηση του ποσοστού αθροίσματος σε ένα σενάριο ενός κελιού με επικοινωνίες D2D, Χρησιμοποιώντας υποστρώματος επικοινωνίας D2D, το δίκτυο μπορεί να υποφέρει από ενδοκυτταρικές

παρεμβολές. Υιοθετούν το επαναληπτικό παιχνίδι δημοπρασίας *combinatorial* στον προτεινόμενο μηχανισμό κατανομής πόρων φάσματος τους. Σε αυτό το παιχνίδι, οι πόροι ραδιοφάσματος που θεωρούνται εκ νέου ως προσφέροντες που ανταγωνίζονται για την απόκτηση επιχειρηματικών συνδέσεων και συνδέσεων D2D θεωρούνται ως αγαθά ή υπηρεσίες που περιμένουν να πωληθούν. Οι συντάκτες διαμορφώνουν την αποτίμηση κάθε μονάδας πόρων για ομάδες συνδέσεων D2D. Με βάση αυτό, προτείνουν έναν μημονοτονικό αλγόριθμο δημοπρασίας φθίνουσας τιμής και δείχνουν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να συγκλίνει σε έναν πεπερασμένο αριθμό επαναλήψεων. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα της πρότασής τους είναι χαμηλότερη από τα παραδοσιακά συνδυαστικά συστήματα κατανομής. Στην προσομοίωση, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν μοντέλα καναλιών WINNER II [56] και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι το προτεινόμενο σχήμα μπορεί να βελτιώσει το ποσοστό αθροίσματος έως και 13%, το οποίο ποικίλλει ανάλογα με τον αριθμό των μονάδων πόρων ραδιοφάσματος.

Περίληψη: Η ερωτηθέντες βιβλιογραφία σε αυτό το υποτιμήμα έδειξε ότι d2D επικοινωνία μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα του φάσματος σε μεγάλο βαθμό. Η βελτίωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με την εκμετάλλευση τεχνικών όπως η μείωση των παρεμβολών μεταξύ των χρηστών κινητής τηλεφωνίας και D2D [4], [8], [23], [26], [45], [20], [15] ή η επίγνωση/αποφυγή παρεμβολών [25],[27], [24], [22]. Μεταξύ αυτών των εγγράφων, [12], [25] και [25] υιοθετούν πιο προηγμένες μαθηματικές τεχνικές από τις άλλες. Οι προτεινόμενες μέθοδοι στα έγγραφα αυτά μπορούν να είναι είτε αυτόματες [4] είτε ελεγχόμενες από το δίκτυο [8], [23], [25]–[27], [4], [15], [20], [22], [15]. Οι αυτοοργανωτηρούμενες μέθοδοι που προτείνονται στο [4] εισάγουν λιγότερα γενικά έξοδα και είναι πιο αποτελεσματικές σε σύγκριση με τις μεθόδους που έχουν στο δίκτυο. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η χρήση προηγμένων μαθηματικών τεχνικών, όπως ο μη γραμμικός προγραμματισμός [15] και η θεωρία των παιχνιδιών [25], μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο κέρδος από τις απλούστερες μεθόδους μείωσης/αποφυγής παρεμβολών που βασίζονται σε ευρετικά. Ωστόσο, εισάγουν επίσης υψηλότερα υπολογιστικά γενικά έξοδα, τα οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη σύγκριση των επιδόσεων της πρότασης.

1.2 OVERLAYING INBAND D2D

Διαφορετικά από τα έργα που εξετάστηκαν στην προηγούμενη υποενότητα, οι συντάκτες του [10], [14], [23] προτείνουν την κατανομή ειδικών πόρων για τις επικοινωνίες D2D. Αυτή η προσέγγιση εξαλείφει τις ανησυχίες για παρεμβολές από επικοινωνίες D2D σε κυψελοειδείς μετατροπές, αλλά μειώνει την ποσότητα των εφικτών πόρων για τις επικοινωνίες κινητής τηλεφωνίας.

Στο [23], προτείνεται η εταιρία να επεξεργαστεί τις προκλήσεις των επικοινωνιών D2D σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και να προτείνει τον έλεγχο των επικοινωνιών D2D από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Ισχυρίζονται ότι η βοήθεια δικτύου μπορεί να λύσει τις ανεπάρκειες των επικοινωνιών D2D όσον αφορά την εξυπηρέτηση και την ανακάλυψη από ομότυπους, την επιλογή τρόπου, την εκτίμηση ποιότητας καναλιών και τον έλεγχο ισχύος. Σε μια συμβατική μέθοδο ανακάλυψης ομοτίμων και υπηρεσιών, οι χρήστες D2D πρέπει να στείλουν *acons* στα σύντομα διαστήματα και να ελέγξουν τα πολλαπλάσια κανάλια που είναι η σημαντική ενέργεια που καταναλώνεται. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει πιο ενεργειακά αποδοτική εάν το BS ρυθμίζει το κανάλι φάρου και βοηθά τους χρήστες D2D, έτσι ώστε να μην χρειάζεται να ακολουθήσουν τη διαδικασία τυχαίας ανίχνευσης τροφοδοσίας ισχύος. Η βοήθεια BS βελτιώνει επίσης τον προγραμματισμό και τον έλεγχο δύναμης που μειώνει την παρέμβαση D2D. Οι συγγραφείς χρησιμοποιούν απλή προσομοίωση Monte-Carlo για την αξιολόγηση της απόδοσης των επικοινωνιών D2D. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η D2D μπορεί να αυξάνει την ενεργειακή απόδοση από 0.8 bps/Hz/mW έως 20 bps/Hz/mW στην καλύτερη περίπτωση όπου η απόσταση μεταξύ των χρηστών D2D είναι 10m.

Οι συντάκτες του [14] προτείνουν τη λειτουργία επαυξητικής αναμετάδοσης για την επικοινωνία D2D σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Στο σύστημα επαυξητικής αναμετάδοσης, οι πομποί D2D έχουν πολλαπλή διανομή τόσο στον δέκτη D2D όσο και στο BS. Σε περίπτωση αποτυχίας της μετάδοσης D2D, το BS αναμεταδίδει το μήνυμα πολλαπλής διανομής στο δέκτη D2D. Οι συντάκτες ισχυρίζονται ότι το σύστημα τμηματικής αναμετάδοσης βελτιώνει την απόδοση του συστήματος *because* το BS λαμβάνει ένα αντίγραφο του μηνύματος D2D το οποίο αναμεταδίδεται σε περίπτωση αποτυχίας. Επομένως, αυτός ο συνδυασμός μειώνει την πιθανότητα διακοπής των μεταδόσεων D2D. Παρόλο που η λειτουργία τμηματικής αναμετάδοσης καταναλώνει

μέρος των πόρων *downlink* για αναμετάδοση, τα αποτελέσματα αριθμητικής προσομοίωσης δείχνουν ότι αυτός ο συνδυασμός βελτιώνει ακόμα την ταχύτητα μετάδοσης των κυττάρων κατά 40% σε σύγκριση με τη λειτουργία υποστρώματος.

Στο [10], η επικοινωνία D2D χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της απόδοσης της μετάδοσης πολλαπλής διανομής σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Λόγω της ποικιλομορφίας καναλιών με καλώδιο, ορισμένα από τα μέλη της ομάδας πολλαπλής διανομής (δηλαδή, σύμπλεγμα) ενδέχεται να μην λαμβάνουν σωστά τα δεδομένα. Οι συγγραφείς προτείνουν να χρησιμοποιήσετε τις επικοινωνίες D2D μέσα στα συμπλέγματα για να ενισχύσουν την απόδοση πολλαπλής διανομής. Συγκεκριμένα, μετά από κάθε πολλαπλή μετάδοση, ορισμένα από τα μέλη που καταφέρνουν να αποκωδικοποιήσουν το μήνυμα θα το αναμεταδώσουν σε αυτά που δεν μπορούσαν να το αποκωδικοποιήσουν. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες εργασίες των [24] και [25] όπου υπάρχει μόνο ένα προκαθορισμένο αναμεταδότηριο, ο αριθμός των αναμεταδοτών στο [10] κολλάει δυναμικά για να μεγιστοποιήσει τη φασματική απόδοση. Οι συγγραφείς δείχνουν μέσω αριθμητικών προσομοιώσεων ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος τους καταναλώνει 90% λιγότερους πόρους ραδιοφάσματος σε σύγκριση το σεναρίου με έναν μόνο αναμεταδότη.

Η πλειοψηφία των εγγράφων προτείνει την επαναχρησιμοποίηση των κυψελωτών πόρων για τις επικοινωνίες D2D (δηλ., *inband*) [4]–[6], [10], [11]. Ωστόσο, η επικοινωνία μεταξύ ζωνών προσελκύει όλο και περισσότερη προσοχή τα τελευταία χρόνια [22], [13], [26], [29], [11]. Πριν συγκρίνουμε τις δύο προσεγγίσεις, συνοψίζουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε προσέγγισης.

Η *Inband D2D* είναι συμφέρουσα υπό την έννοια ότι: (i) το υπόστρωμα D2D *inb* χρησιμοποιεί εκ νέου τη φασματική απόδοση του κυτταρικού φάσματος με την εκμετάλλευση της χωρικής ποικιλομορφίας. ii) οποιαδήποτε κυτταρική συσκευή είναι σε θέση να χρησιμοποιεί επικοινωνία *inband D2D* (η διεπαφή κινητής τηλεφωνίας συνήθως δεν υποστηρίζει συχνότητες *outband*) και (iii) η διαχείριση QoS είναι εύκολη, επειδή το κυτταρικό φάσμα μπορεί να ελεγχθεί πλήρως από το BS. Τα μειονεκτήματα των επικοινωνιών *inband D2D* είναι: (i) οι πόροι κινητής τηλεφωνίας μπορεί να σπαταληθούν σε επικάλυψη D2D ii) η διαχείριση των παρεμβολών μεταξύ D2D και κυτταρικής μετάδοσης σε υπόθεση είναι πολύ δύσκολη iii) οι λύσεις ελέγχου ισχύος και διαχείρισης παρεμβολών συνήθως καταφεύγουν σε μεθόδους κατανομής πόρων υψηλής

πολυπλοκότητας και iv) ένας χρήστης δεν μπορεί να έχει ταυτόχρονες μεταδόσεις κινητής τηλεφωνίας και D2D. Φαίνεται ότι η υποστρωμάτωση D2D επικοινωνίας είναι πιο δημοφιλής από την επικάλυψη. Οι συντάκτες που προτείνουν να χρησιμοποιήσουν την επικάλυψη D2D συνήθως προσπαθούν να αποφύγουν τα ζητήματα παρεμβολής στο υπόστρωμα.

Εικόνα 4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων τύπων επικοινωνιών D2D

	<i>Inband</i>		<i>Outband</i>	
	<i>Υπόστρωμα</i>	<i>Επικάλυψη</i>	<i>Ελεγχόμενη</i>	<i>Αυτόνομη</i>
<i>Παρεμβολές μεταξύ D2D και χρηστών κινητής τηλεφωνίας</i>	X	×	×	×
<i>Απαιτεί αποκλειστικούς πόρους για χρήστες D2D</i>	×	X	×	×
<i>Ελεγχόμενο περιβάλλον παρεμβολών</i>	X	X	×	×
<i>Ταυτόχρονη D2D και κυτταρική μετάδοση</i>	×	×	X	X
<i>Απαιτεί συντονισμό μεταξύ πλατφορμών</i>	×	×	X	X
<i>Απαιτεί συσκευές με περισσότερες από μία διασυνδέσεις ραδιοφώνου</i>	×	×	X	X
<i>Εισάγει επιπλέον πολυπλοκότητα στο χρονοδιάγραμμα</i>	X	X	X	×

Ωστόσο, η διάθεση ειδικών πόρων ραδιοφάσματος στους χρήστες D2D δεν είναι τόσο αποτελεσματική όσο η υπόστρωση όσον αφορά τη φασματική αποτελεσματικότητα. Πιστεύουμε ότι η δημοτικότητα του υποστρώματος D2D οφείλεται στην υψηλότερη φασματική αποτελεσματικότητά του.

Εκτός ζώνης. Τύπος του D2D επικοινωνίας έχει πλεονεκτήματα, όπως: (i) δεν υπάρχει καμία παρεμβολή μεταξύ των χρηστών κινητής τηλεφωνίας και D2D ii) δεν υπάρχει ανάγκη για την αφιέρωση των κυψελωτών πόρων στο φάσμα D2D, όπως η επικάλυψη inband D2D. iii) η κατανομή των πόρων γίνεται ευκολότερη, επειδή το χρονοδιάγραμμα δεν απαιτεί να λαμβάνει υπόψη τη συχνότητα, το χρόνο και τη θέση των χρηστών. (iv) Παρ' όλα αυτά το outband D2D έχει ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία είναι: (i) η παρεμβολή στο φάσμα χωρίς άδεια δεν είναι στον έλεγχο του Bs ii) μόνο οι συσκευές κινητής τηλεφωνίας με δύο ραδιοσυνδέσεις (π.χ. LTE ndWiFi) μπορούν να χρησιμοποιούν επικοινωνίες μέσω ζώνης D2D. iii) η αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας μεταξύ δύο ασύρματων διεπαφών είναι ζωτικής σημασίας, διαφορετικά η κατανάλωση ενέργειας της συσκευής μπορεί να αυξηθεί. και (iv) τα πακέτα (τουλάχιστον οι κεφαλίδες) πρέπει να αποκωδικοποιηθούν και να κωδικοποιηθούν, επειδή τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται από διαφορετικές διασυνδέσεις ασυρμάτου δεν είναι τα ίδια.

Παρά το γεγονός ότι η βιβλιογραφία σχετικά με inband D2D είναι ευρύτερη από εκείνη του outband, φαίνεται ότι οι ερευνητές έχουν αρχίσει να διερευνούν τα πλεονεκτήματα της outband D2D και το θεωρούν ως μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για inband D2D. Πιστεύουμε ότι με την εξελικτική ενσωμάτωση των smartphones στην αγορά τηλεφώνων, η πλειοψηφία των κινητών συσκευών θα είναι εξοπλισμένοι με περισσότερες από μία ασύρματες διασυνδέσεις που καθιστά δυνατή την εφαρμογή outband D2D συστήματα. Επιπλέον, τα πρότυπα όπως 802.21 [13] εξετάζουν την παράδοση από και προς διαφορετικές πλατφόρμες (π.χ. WiMAX και LTE), γεγονός που θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά την πολυπλοκότητα του συντονισμού μεταξύ των διαφόρων ασύρματων διεπαφών σε outband D2D. Table IV συνοψίζει τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

B. Κοινές παραδοχές

Τα περισσότερα από τα έγγραφα της βιβλιογραφίας υποθέτουν ότι το BS γνωρίζει το στιγμιαίο CSI των κυτταρικών ή/και D2D συνδέσεων, π.χ., [27], [45],

[27], [24], [25], [28], [23]. Αυτή η υπόθεση είναι απαραίτητη, διότι προτεινόμενες λύσεις χρειάζονται τη συμμετοχή του BS για τη λήψη αποφάσεων προγραμματισμού για τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας και D2D. Εναλλακτικά, όταν οι χρήστες D2D αποφασίζουν για τις υποδοχές μετάδοσης τους, η κοινή υπόθεση είναι ότι οι χρήστες D2D γνωρίζουν τις συνδέσεις κινητής τηλεφωνίας και D2D. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν επίσης έγγραφα όπως [21] και [16] που υποθέτουν ότι οι χρήστες BS ή D2D γνωρίζουν μόνο το στατιστικό CSI των συνδέσεων. Με την υπόθεση αυτή, μπορεί να αποφευχθεί το μεγάλο γενικό περιθώριο για την αναφορά στιγμιαίων CSI. Για να μετριαστεί η πιθανή παρεμβολή από τη μετάδοση D2D στη μετάδοση κινητής τηλεφωνίας, [4] υποθέτει ότι οι χρήστες D2D γνωρίζουν το ελάχιστο όριο παρεμβολής των χρηστών κινητής τηλεφωνίας. Με τις τελευταίες υποθέσεις, οι χρήστες D2D μπορούν ευκαιριακά να επιλέξουν τις υποδοχές μετάδοσης in που δεν παρεμβαίνουν με τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας.

Οι προτάσεις που αφορούν τη συγκέντρωση χρηστών συνήθως υποθέτουν ότι το σύμπλεγμα είναι αρκετά μακριά ώστε να μην υπάρχει καμία ή αμελητέα παρεμβολή μεταξύ διαφορετικών συσπειρώσεων, π.χ., [9], [12], [23], [15]. Η υπόθεση αυτή δεν μπορεί να ισχύει σε κατοικημένες περιοχές ή πυκνοκατοικημένες περιοχές. Μια πολύ ενδιαφέρουσα παρατήρηση από την αναθεωρημένη βιβλιογραφία είναι ότι η πλειοψηφία των εγγράφων υποθέτουν ότι οι χρήστες BS ή D2D έχουν πάντα την κυκλοφορία για να στείλουν, και ως εκ τούτου χρησιμοποιούν την απόδοση ως κοινή μέτρηση. Ωστόσο, οι συντάκτες του [26], [19] αναλύουν σενάριο με δυναμικό φορτίο κυκλοφορίας και αξιολογούν τη μέση καθυστέρηση μεταφοράς αρχείων και την ευαίσθητη στις καθυστερήσεις χρησιμότητα στο πλαίσιο του προτεινόμενου μηχανισμού διασποράς της κυκλοφορίας, αντίστοιχα. Δεδομένου ότι η τελευταία υπόθεση είναι πιο ρεαλιστική, θα ήταν ενδιαφέρον να δούμε την απόδοση των προαναφερθέντων έργων υπό δυναμικές ροές κυκλοφορίας.

Αποδοτικότητα δύναμης

Οι τεχνικές βελτίωσης αποδοτικότητας δύναμης για d2d-ενεργοποιημένα κυψελοειδή δίκτυα είναι επίσης ένα πολύ ενδιαφέρον ερευνητικό θέμα. Xiao et al. [27] προτείνει έναν ευρετικό αλγόριθμο για την κατανομή ισχύος σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας που βασίζονται στο OFDMA. Προτείνουν ένα ευρετικό που performs κατανομή ισχύος και την επιλογή λειτουργίας χρησιμοποιώντας τους υπάρχοντες

αλγόριθμους υποπαραχώρισης και κατανομής bit σε [28] και [29]. Το ευρετικό εκχωρεί πρώτα τους πόρους για τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας και στη συνέχεια εκτελεί εκχώρηση πόρων και επιλογή λειτουργίας για χρήστες D2D. Εάν το απαιτούμενο επίπεδο ισχύος της μετάδοσης D2D είναι υψηλότερο από ένα συγκεκριμένο όριο, το ζεύγος D2D επικοινωνεί μέσω του BS. Μέσω προσομοιώσεων, δείχνουν ότι η ενσωμάτωση των προτεινόμενων ευρετικών τους με τους υπάρχοντες αλγόριθμους στο [28], [29] εμποδίζει την κατανάλωση ενέργειας του δικτύου κατά 20% περίπου σε σύγκριση με το παραδοσιακό σύστημα OFDMA χωρίς D2D.

Οι συντάκτες του [20] προτείνουν έναν αλγόριθμο για την επιλογή θέσης και τρόπου δύναμης στην επικοινωνία D2D κάτω από τοποθέτηση του κυψελοειδούς δικτύου. Ο αλγόριθμος μετρά την απόδοση ισχύος, η οποία είναι συνάρτηση του ρυθμού μετάδοσης και της κατανάλωσης ενέργειας, των χρηστών σε διαφορετικούς τρόπους (κυψελοειδή και D2D). Μετά τον υπολογισμό της απόδοσης ισχύος, κάθε συσκευή χρησιμοποιεί τη λειτουργία στην οποία επιτυγχάνει υψηλότερη απόδοση ισχύος. Το μειονέκτημα αυτού του αλγόριθμου είναι ότι ο ελεγκτής θα πρέπει να εκτελεί εξαντλητική αναζήτηση για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς τρόπων λειτουργίας για όλες τις συσκευές. Οι συγγραφείς συγκρίνουν τον αλγόριθμο τους με το σχήμα [21] στο οποίο δύο χρήστες επικοινωνούν μέσω της σύνδεσης D2D μόνο εάν η απώλεια διαδρομής τους είναι χαμηλότερη από τις απώλειες διαδρομής μεταξύ κάθε χρήστη και του BS. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι ο αλγόριθμος τους επιτυγχάνει έως και 100% κέρδος σε σχέση με το σύστημα που προτείνεται στο [11].

Οι συντάκτες του [22] στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση της συνολικής ισχύος μετάδοσης σε ένα πολυκυτταρινικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας OFDM. Υποθέτουν ένα σενάριο πολλαπλών κυττάρων στο οποίο το BS εξυπηρετεί έναν σταθερό αριθμό χρηστών κινητής τηλεφωνίας και D2D. Οι συγγραφείς διαμορφώνουν το πρόβλημα της κοινής λειτουργίας, της κατανομής των πόρων και της κατανομής της ισχύος μέσω γραμμικού προγραμματισμού, ο οποίος έχει αποδειχθεί ότι είναι NP-Hard με ισχυρή έννοια [23]. Λόγω της πολυπλοκότητας του γραμμικού προγράμματος- *min*, οι συγγραφείς αποφασίζουν να εξετάσουν την κατανομή ισχύος σε ένα μόνο κελί και να προτείνουν έναν ευρετικό αλγόριθμο για την επίλυσή του. Χρησιμοποιούν μια κατανεμημένη υπο-βέλτιστη ευρετική που εκτελεί την επιλογή τρόπου λειτουργίας και

την εκχώρηση πόρων σε ένα σενάριο ενός κελιού. Η απόδοση του ευρετικών συγκρίνεται με άλλα δύο συστήματα: (i) η κυτταρική λειτουργία στημετάδοση which θα πρέπει να διέρχεται από τη λειτουργία BS και (ii) η λειτουργία D2D στην οποία όλοι οι χρήστες D2D μπορούν να επικοινωνούν μόνο απευθείας και περνώντας μέσω του BS δεν επιτρέπεται. Οι συγγραφείς παρέχουν αποτελέσματα προσομοίωσης που δείχνουν ότι η αύξηση της αποδοτικότητας ισχύος της προτεινόμενης μεθόδου σε σχέση με τα συμβατικά κυψελοειδή δίκτυα είναι σημαντική (έως 100%) όταν η απόσταση μεταξύ των χρηστών D2D είναι μικρότερη από 150m.

Περίληψη: Παρατηρήθηκε σε αυτή την υποενότητα ότι η επικοινωνία D2D μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη απόδοση ισχύος του δικτύου. Μια κοινή τεχνική για να επιτευχθεί αυτό είναι να μεταβείτε δυναμικά μεταξύ των κυτταρικών και D2D τρόπους. Οι συγγραφείς σε [17] και [12] προτείνουν ευρετικούς αλγορίθμους για την επίλυση της επιλογής λειτουργίας problem, ενώ [20] χρησιμοποιεί την τεχνική ωμής βίας. Η απόδοση της μεθόδου στο [20] είναι έτσι καλύτερα από εκείνα στα άλλα δύο, αλλά απαιτεί επίσης πολύ περισσότερο υπολογισμό.

Απόδοση με περιορισμούς QoS/Power

Υπάρχουν πολλά έργα που επικεντρώνονται στη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, διατηρώντας παράλληλα ορισμένους περιορισμούς QoS/power [24]–[29]. Οι συντάκτες του [14] προτείνουν μια μέθοδο κατανομής πόρων για την επικοινωνία D2D που αποτελεί τη βάση του δικτύου cellular, η οποία εγγυάται απαιτήσεις QoS τόσο για τους χρήστες D2D όσο και για τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Διαμορφώνουν μαθηματικά το πρόβλημα εκχώρησης πόρων, το οποίο είναι ένα μη γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης περιορισμών. Χωρίζουν το πρόβλημα σε τρία υπο-προβλήματα. Πρώτον, το BS ελέγχει τη σκοπιμότητα της d2D connection με βάση τις απαιτήσεις SINR (έλεγχος εισδοχής). Στη συνέχεια, διαμορφώνουν το βέλτιστο έλεγχο ισχύος για το ζεύγος D2D. Τέλος, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός με βάση τη αντιστοίχιση με μέγιστο βάρος [20] για την κατανομή πόρων για χρήστες κυτταρικών και D2D. Οι συγγραφείς συγκρίνουν τον προτεινόμενο αλγόριθμο τους με τα έργα στο [4], [26], [11] μέσω αριθμητικών προσομοιώσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προσέγγισή τους παρέχει έως και 70% κέρδος απόδοσης σε σχέση με τους αλγορίθμους που

προτείνονται στο [4], [26], [11]. Οι συντάκτες του [25] εξετάζουν την επιλογή τρόπου και την εκ νέου κατανομή πηγής στα κυψελοειδή δίκτυα επικοινωνιών D2D, όπου διάφορα ζεύγη συνδέσεων D2D συνυπάρχουν με τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας *sen-eval*. Διαμορφώνουν το πρόβλημα της μεγιστοποίησης της ταχύτητας μετάδοσης του συστήματος με ελάχιστες απαιτήσεις ρυθμού δεδομένων και χρησιμοποιούν τη μέθοδο βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων [12] για να αποκτήσουν τις λύσεις. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος έχει 15% κέρδος απόδοσης σε σχέση με το ορθογώνιο σύστημα κατανομής των πόρων (δηλαδή, επικάλυψη D2D που θα εξηγηθεί αργότερα), όπου το εφικτό κέρδος ποικίλλει ανάλογα με την απόσταση των χρηστών D2D. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν επίσης ότι αυτή η μέθοδος μπορεί να βελτιώσει τις επιδόσεις του συστήματος

ελάχιστο ποσοστό δεδομένων των χρηστών.

Οι συντάκτες του [26] εξετάζουν το πρόβλημα προγραμματισμού και επιλογής τρόπου για D2D στα δίκτυα OFDMA. They Υποθέτουν ότι ο χρόνος του συστήματος είναι *slotted* και κάθε κανάλι χωρίζεται σε υπο-κανάλια. Διαμορφώνουν το πρόβλημα της μεγιστοποίησης του μέσου ποσοστού αθροίσματος του συστήματος με ικανοποίηση QoS ως στοχαστικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, και χρησιμοποιούν το στοχαστικό υπο-κλίση *algorithm* για να το λύσει. Από τη λύση, σχεδιάζουν έναν αλγόριθμο ευκαιριακού προγραμματισμού υποκαναλικού που λαμβάνει υπόψη το CSI των συνδέσεων D2D και κινητής τηλεφωνίας, καθώς και την απαίτηση QoS κάθε χρήστη D2D. *user*. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι ο μέσος συντελεστής αθροίσματος *can* πρέπει να βελτιωθεί έως και κατά 500%. Αυτό το κέρδος αυξάνεται όταν μειώνεται η μέση απόσταση ζεύγους D2D. Επιπλέον, με την επικοινωνία D2D, η δικαιοσύνη μεταξύ των χρηστών μπορεί να επιτευχθεί με την απαίτηση QoS που καθορίζεται για κάθε χρήστη.

Στο [27], προτείνεται ένα σύστημα δύο φάσεων για όλες τις τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας για δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με υποστρωμένες επικοινωνίες D2D. Οι συντάκτες διαμορφώνουν πρώτα τη βέλτιστη πολιτική κατανομής πόρων ως ένα ακέραιο πρόβλημα προγραμματισμού [13] το οποίο είναι NP-Hard. Ως εκ τούτου, προτείνουν μια δύο φάσεων χαμηλής πολυπλοκότητας μη βέλτιστη λύση αντί του προβλήματος NP-Hard. Στην πρώτη φάση, επεκτείνουν την τεχνική που

χρησιμοποιείται στο [14] για να εκτελέσουν τη βέλτιστη κατανομή πόρων για χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Στη δεύτερη φάση, χρησιμοποιούν ένα ευρετικό σύστημα κατανομής υποκαναλικών για ροές D2D, το οποίο ξεκινά την κατανομή των πόρων από τη ροή με ελάχιστες απαιτήσεις χρέωσης. Το ευρετικό αντιπροσωπεύει επίσης έναν προϋπολογισμό ισχύος D2D (δηλαδή, μια ισχύ μετάδοσης D2D που δεν επηρεάζει το ρυθμό μετάδοσης των ροών κινητής τηλεφωνίας) στο υποκαναλικόιόντων κατανομής για τη ροή D2D.

Οι συντάκτες των [28] και [19] εξετάζουν ένα σενάριο ενός κελιού όπου ένας χρήστης κινητής τηλεφωνίας και δύο χρήστες D2D μοιράζονται τους ίδιους ραδιοφωνικούς πόρους. Υποθέτουν ότι το BS γνωρίζει τις στιγμιαίες πληροφορίες κατάστασης καναλιών (CSI) όλων των συνδέσεων και ελέγχει την ισχύ μετάδοσης και τους ραδιο πόρους των συνδέσεων D2D. Ο στόχος είναι να βελτιστοποιηθεί το ποσοστό αθροίσματος με περιορισμό ενέργειας/ισχύος, στο πλαίσιο τριών διαφορετικών στρατηγικών κοινής χρήσης συνδέσεων, δηλαδή, μη ορθογώνια λειτουργία κοινής χρήσης, ορθογώνια *share*-σει λειτουργία *g*, και κυτταρική λειτουργία. Οι συγγραφείς δείχνουν αναλυτικά ότι μια βέλτιστη λύση μπορεί να δοθεί είτε σε κλειστή μορφή ή μπορεί να επιλεγεί από ένα σύνολο. Η αριθμητική προσομοίωση για τα σενάρια μονού κυττάρου [18] και [29] και πολλαπλών κυττάρων [69] δείχνει ότι σύμφωνα με τον προτεινόμενο αλγόριθμο τους, η μετάδοση D2D δεν θα φέρει πολλές παρεμβολές στην κυτταρική μετάδοση. Επιπλέον, η κατανομή των πόρων με επίγνωση των παρεμβολών αυξάνει το ποσοστό αθροίσματος του συστήματος έως και κατά 45%. Παρόμοιο σενάριο και στόχος εξετάζονται στο [21]. Η διαφορά μεταξύ [21], [68] και [19] είναι ότι στο [21] το BS γνωρίζει μόνο το μέσο CSI των συνδέσεων, ενώ στο [18] και στο [19] γνωρίζει το στιγμιαίο CSI των συνδέσεων.

Περίληψη: Η βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας με δυνατότητα D2D με περιορισμούς *QoS/power* συνήθως απαιτεί προηγμένες τεχνικές, όπως στοχαστική βελτιστοποίηση, προγραμματισμός μη κλινονύπων και βελτιστοποίηση ακεραίων. Όπως ήταν αναμενόμενο, η λύση αυτών των προσεγγίσεων και η παράγωγή υπο-βέλτιστη ευρετική τους μπορεί πράγματι να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος με περιορισμούς *QoS/ισχύος*. Ωστόσο, δεν φαίνεται να είναι ένας καλός υποψήφιος για χρονικά αυστηρή εφαρμογή με περιορισμένη υπολογιστική ικανότητα. Ωστόσο, οι συντάκτες του [28] και

[19] προέρχεται η κλειστή μορφή της βέλτιστης solution, η οποία στην πραγματικότητα μειώνει την υπολογιστική πολυπλοκότητα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το σενάριο που τους θεωρείται αποτελείται μόνο από έναν χρήστη κινητής τηλεφωνίας και ένα ζεύγος D2D που δεν είναι πρακτικό στην πραγματικότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ D2D ΣΤΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΚΟΣΜΟ

Αν και η επικοινωνία D2D προκάλεσε μεγάλη προσοχή και ενδιαφέρον για την ακαδημαϊκή κοινότητα, τη βιομηχανία και τους φορείς τυποποίησης, δεν πρόκειται να ενσωματωθεί στην τρέχουσα υποδομή επικοινωνίας μέχρι να επιλυθούν οι προκλήσεις εφαρμογής. Εδώ, εξηγούμε μερικές από τις μεγάλες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι επικοινωνίες D2D.

Διαχείριση παρεμβολών. Στην περιοχή επικοινωνία inband D2D, οι υπηρεσίες UEs μπορούν να επαναχρησιμοποιήσουν πόρους ανερχόμενης ζεύξης/σύνδεσης στο ίδιο κελί. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να σχεδιαστεί ο μηχανισμός D2D με τρόπο τέτοιο ώστε οι D2D χρήστες να μην διαταράσσουν τις υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας. Η διαχείριση παρεμβολών αντιμετωπίζεται συνήθως από συστήματα κατανομής ενέργειας και πόρων, αν και τα χαρακτηριστικά της παρεμβολής D2D δεν είναι ακόμη καλά κατανοητά.

Κατανομή ενέργειας. Στο inband D2D, η ισχύς μεταφοράς θα πρέπει να ρυθμίζεται κατάλληλα έτσι ώστε ο πομπός D2D να μην παρεμβαίνει στην κυψελοειδή επικοινωνία UE, διατηρώντας παράλληλα την ελάχιστη απαίτηση SINR του δέκτη D2D. Στην εξωτερική ζώνη D2D, η παρεμβολή μεταξύ D2D και χρήστη κινητής τηλεφωνίας δεν είναι ανησυχητική. Επομένως, η εκχώρηση ισχύος μπορεί να φαίνεται άσχετη με το outband D2D. Ωστόσο, με την αυξημένη πληρότητα των ζωνών ISM, η αποτελεσματική κατανομή ενέργειας καθίσταται ζωτικής σημασίας για την αποφυγή συμφόρησης, ζητημάτων σύγκρουσης και παρεμβολών μεταξύ συστημάτων.

Ανάθεση πόρων. Αυτή είναι μια άλλη σημαντική πτυχή της επικοινωνίας D2D ειδικά για inband D2D. Η διαχείριση των παρεμβολών μπορεί να γίνει αποτελεσματικά, εάν οι χρήστες D2D επικοινωνούν μέσω μπλοκ πόρων που δεν χρησιμοποιούνται από τα κοντινά κινητά uEs που παρεμβαίνουν. Η ανάθεση πόρων για outband D2D

συνίσταται απλά στην αποφυγή των ζωνών ISM που χρησιμοποιούνται αυτήν την περίοδο από άλλους χρήστες D2D, WiFi hotspots, κ.λπ.

Μορφή διαμόρφωσης. Αυτή είναι μία από τις προκλήσεις που σπάνια αντιμετωπίζεται από τους ερευνητές. Οι υπάρχουσες UEs LTE χρησιμοποιούν ένα δέκτη OFDMA σε downlink και ένα SC-FDMA για μετάδοση ανερχόμενης ζεύξης. Έτσι, για τη χρήση πόρων downlink (resp. uplink), το D2D UE θα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με πομπό OFDM A (resp. ΔΕΚΤΗΣ SC-FDMA) [20].

Μέτρηση καναλιού. Οι ακριβείς πληροφορίες καναλιών είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική διαχείριση παρεμβολών, την εκχώρηση ενέργειας και την εκχώρηση πόρων. Τα συμβατικά κυψελοειδή συστήματα χρειάζονται μόνο τις πληροφορίες downlink channel από ues και οι πληροφορίες καναλιών uplink υπολογίζονται εύκολα στο σταθμό βάσης. Δυστυχώς, η επικοινωνία D2D απαιτεί πληροφορίες σχετικά με το κέρδος καναλιού μεταξύ των ζευγών D2D, το κέρδος καναλιού μεταξύ του πομπού D2D και του κυψελοειδούς UE, καθώς και ένα το κέρδος καναλιών μεταξύ του κυψελοειδούς πομπού και του δέκτη D2D. Η ανταλλαγή τέτοιων πρόσθετων πληροφοριών στα κανάλια μπορεί να γίνει μια απαράδεκτη επιβάρυνση του συστήματος εάν το σύστημα χρειάζεται στιγμιαία ανατροφοδότηση CSI. Πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω ο συμβιβασμός μεταξύ της ακρίβειας του CSI και των εξόδων που προκύπτουν.

Κατανάλωση ενέργειας. Η επικοινωνία D2D μπορεί δυνητικά να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση της UE. Ωστόσο, αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πρωτόκολλο που έχει σχεδιαστεί για τον εντοπισμό συσκευών και την επικοινωνία D2D. Για παράδειγμα, εάν το πρωτόκολλο αναγκάζει το UE να ζυπνά πολύ συχνά για να ακούει για αιτήσεις ζεύξης ή να μεταδίδει τα μηνύματα εντοπισμού συχνά, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας του UE μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Η αντιστάθμιση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας της UE και της ταχύτητας ανακάλυψης των UEs θα πρέπει να μελετηθεί καλύτερα.

Ο ΧΑΡΚ. Λαμβάνοντας υπόψη την πολυπλοκότητα της διαχείρισης παρεμβολών στην επικοινωνία D2D, HARQ φαίνεται να είναι μια βιώσιμη τεχνική για την αύξηση της ευρωστίας. Το HARQ μπορεί να σταλεί είτε απευθείας (δηλαδή, από το δέκτη D2D στο transmitter) είτε έμμεσα (δηλαδή, από το δέκτη D2D στο eNB, και από το eNB στον πομπό D2D) [20]. Η άμεση λειτουργία θέτει λιγότερα γενικά έξοδα στο eNB σε

σύγκριση με την έμμεση κατάσταση λειτουργίας. Επιπλέον, τα οφέλη από τα μηνύματα ACK/NACK φθάνουν στο tacer μετάδοσης με μικρότερη καθυστέρηση.

Εδώ θα επεξεργαστεί ορισμένες από τις πιθανές κατευθύνσεις της έρευνας και θα ανοίξει τα προβλήματα στις επικοινωνίες D2D σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Στη συνέχεια παραθέτουμε ορισμένα ανοιχτά προβλήματα es. που βασίζονται σε διαφορετικές ερευνητικές μεθοδολογίες.

Θεωρητική εργασία. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, η χρήση μαθηματικών εργαλείων και τεχνικών βελτιστοποίησης στο state-of-the-art είναι πολύ περιορισμένη. Η τρέχουσα βιβλιογραφία στερείται σίγουρα βέλτιστες τεχνικές επιλογής λειτουργίας και παρεμβολές και τον έλεγχο ισχύος mechanisms. Η ανάλυση σταθερότητας ουρά χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως η στοχαστική βελτιστοποίηση Lyapunov μπορεί να είναι επίσης ένα ενδιαφέρον θέμα για την αντιμετώπιση. Αυτό μπορεί να επεκταθεί περαιτέρω για να παρέχει τη δυνατότητα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος που βασίζεται στην απόδοση, την αντιστάθμιση απόδοσης-ισχύος, τα όρια καθυστέρησης και την ανάλυση delay των επικοινωνιών D2D σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

Αρχιτεκτονική. Υπάρχει πολύ λίγη εργασία που εξηγεί την απαιτούμενη αρχιτεκτονική προκειμένου να υποστηριχθούν οι επικοινωνίες D2D στα κυψελοειδή δίκτυα [5], [80]. Είναι ενδιαφέρον να διερευνηθεί περαιτέρω σχετικά με την ικανότητα της τρέχουσας κεντρικής αρχιτεκτονικής κινητής τηλεφωνίας για το χειρισμό των διαδικασιών D2D, όπως η ανακάλυψη της συσκευής, D2D ρύθμιση σύνδεσης, κυτταρική διαδικασία εγγραφής δικτύου, τον έλεγχο παρεμβολών, την κατανομή των πόρων, την ασφάλεια, και ούτω καθεξής. Ομοίως, το λογισμικό δικτύωσης προσανατολισμένης αρχιτεκτονικής σύντομα θα πρέπει να συμπεριλάβει D2D στην εξίσωση. Πράγματι, το D2D πρέπει να μελετηθεί στο πιο περίπλοκο πλαίσιο της HetNets λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος της αγοράς για τη διαθεσιμότητα πολλαπλών ραδιοτεχνολογιών που αναπτύσσονται σε κινητές τεχνολογίες.

Εφαρμογή. Πριν από μια δεκαετία, D2D προτάθηκε για πρώτη φορά για τη μετάδοση σκοπού σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Μέχρι σήμερα, οι ερευνητές πρότειναν νέες περιπτώσεις χρήσης για επικοινωνίες D2D σε κυψελοειδή δίκτυα, όπως η πολλαπλή διανομή [9], [10], η επικοινωνία μεταξύ ομοτίμων [11], η video διάδοση [5], [12], [14], η επικοινωνία M2M [15] και η κυτταρική εκφόρτωση [16]. Πιστεύουμε

ότι η επικοινωνία D2D μπορεί να έχει περισσότερες εφαρμογές στον κόσμο των τηλεπικοινωνιών. Για παράδειγμα, θα ήταν ενδιαφέρον να δούμε την εφαρμογή του D2D επικοινωνιακά στην κοινωνική δικτύωση, τις υπηρεσίες με επίγνωση θέσης, τα δίκτυα οχημάτων, τα έξυπνα δίκτυα [13], [14], κ.λπ.

Ανάλυση απόδοσης. Όπως φαίνεται στον πίνακα VI, η πλειονότητα της διαθέσιμης βιβλιογραφίας βασίζεται σε αριθμητικές ή εγχώριες προσομοιώσεις. Αν και αυτοί οι τύποι μεθόδων αξιολόγησης είναι κατάλληλοι για τη μελέτη των πιθανών κερδών, απέχουν ακόμη πολύ από την πραγματικότητα λόγω απλουστευμένων παραδοχών. Πιστεύουμε ότι μια αξιολόγηση επιδόσεων χρησιμοποιώντας τους υπάρχοντες προσομοιωτές δικτύου όπως NS3 [107], OPNET [108], Omnet++ [109] ή μια ηλεκτρονική αξιολόγηση μπορεί να βοηθήσει στην αποκάλυψη τόσο των πραγματικών επιδόσεων όσο και των νέων προκλήσεων των επικοινωνιών D2D σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Σε αυτό το έργο, παρείχαμε μια εκτενή έρευνα σχετικά με τη διαθέσιμη βιβλιογραφία σχετικά με τις επικοινωνίες D2D στο cellular networks. Κατηγοριοποιήσαμε τη διαθέσιμη βιβλιογραφία με βάση το φάσμα επικοινωνίας της μετάδοσης D2D σε δύο μεγάλες ομάδες, δηλαδή, inband και outband. Τα έργα κάτω από inband D2D χωρίστηκαν περαιτέρω σε υπόστρωμα και επικάλυψη. Outband D2D επίσης υπο-κατηγοριοποιούνται ως ελεγχόμενη και αυτόνομη.

Το κύριο ζήτημα που αντιμετωπίζουν σε underlay D2D επικοινωνία είναι ο έλεγχος ισχύος και τη διαχείριση παρεμβολών μεταξύ D2D και κυτταρικών χρηστών. Η επικοινωνία επικάλυψης D2D δεν έχει το ζήτημα παρεμβολής, επειδή οι πόροι D2D και κινητής τηλεφωνίας δεν επικαλύπτονται. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση εκχωρεί ειδικούς πόρους κινητής τηλεφωνίας σε χρήστες D2D και έχει χαμηλότερη φασματική απόδοση από το υπόστρωμα. Σε outband D2D, δεν υπάρχει καμία παρεμβολή και το ζήτημα ελέγχου δύναμης μεταξύ D2D βοηθάει τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Παρ' όλα αυτά, το επίπεδο παρεμβολής του φάσματος χωρίς άδεια είναι ανεξέλεγκτη, ως εκ τούτου, QoS εγγύηση σε εξαιρετικά κορεσμένες ασύρματες περιοχές είναι ένα δύσκολο έργο.

Μέρος αυτής της τεχνολογίας είναι η δυναμική δημιουργία ομάδων, μέσω των κόμβων κεφαλής ομάδας οι οποίοι μπορούν να υλοποιηθούν από *ad hoc* σταθμούς βάσης καθώς και από φορητές συσκευές και η ενσωμάτωση των εν λόγω ομάδων σε κυβελωτά δίκτυα, όπου αυτό είναι εφικτό. Σε αυτό το πλαίσιο έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις, οι οποίες έχουν αξιολογηθεί μέσω προσομοιωτών για διαφορετικές πυκνότητες χρηστών και φορτίο κυκλοφορίας, με τα αποτελέσματα να δείχνουν ότι ένα *threshold-based* σχήμα χαμηλής πολυπλοκότητας, ισορροπεί ιδανικά μεταξύ ενεργειακής κατανάλωσης, κάλυψης και ταχύτητας δημιουργίας ομάδας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] IEEE, "Πρότυπο 802.16e-2005, part16: Διεπαφή αέρα για τη σταθερή και κινητή ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση systems amendment για τα φυσικά και μεσαία στρώματα ελέγχου πρόσβασης για τη συνδυασμένη σταθερή και κινητή λειτουργία στην άδεια ζώνη," το 2005.
- [2] Έργο Συνεργασίας Τρίτης Γενιάς (3GPP), "Φυσικό στρώμα procedures (Release 10) για εξελιγμένη καθολική επίγεια ραδιο πρόσβαση (E-UTRA)," 3GPP TS 36.213 v 10.5.0, 2012.
- [3] Y.-D. Lin και Y.-C. Hsu, "Multihop κυβελωειδής: Μια νέα αρχιτεκτονική για ασύρματες επικοινωνίες," στο *Πρακτικά της IEEE INFOCOM*, τόμος 3, 2000, σ. 1273–1282.
- [4] B. Kaufman και B. Aazhang, «Κυβελωειδή δίκτυα με μια επικαλύπτονται συσκευή στο δίκτυο συσκευών,» στα *πρακτικά της διάσκεψης Asilomar στα σήματα, τα συστήματα και τους υπολογιστές*, 2008, σ. 1537–1541.
- [5] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. Ribeiro, και K. Hugl, "Συσκευή-σε συσκευή επικοινωνίας ως υπόστρωμα σε LTE-προηγμένα δίκτυα," *IEEE IEEE Επικοινωνιών Περιοδικό*, vol. 47, όχι. 12, σ. 42–49, 2009.
- [6] K. Ντόπλερ, Μ.Π. Ρίν, Π. Janis, C. Ribeiro, και K. Hugl, "Συσκευή-σε-συσκευή επικοινωνιών? λειτουργικές προοπτικές για LTE-Προηγμένα δίκτυα," στα *Πρακτικά του IEEE ICC Workshops*, 2009, σ. 1-6.
- [7] Α. Οσσεϊάν, Κ. Ντόπλερ, Γ. Ριμπέρο, Μ. Ξιάο, Μ. Σκόγκλουοντ, και J. Manssour, "Προκαταβολές σε συσκευή-σε-συσκευή communications και καθαρή εργασία κωδικοποίησης για IMT-Advanced," *ICT Mobile Σύνοδο Κορυφής*, 2009.
- [8] Τ. Πενγκ, Κιου Λου, Χ. Γουάνγκ, Σ. Ζου και Γ. Wang, «Μηχανισμοί αποφυγής παρεμβολών στα υβριδικά κυβελωειδή και συσκευή-σε-συστήματα συσκευών,» μέσα *Πρακτικά IEEE PIMRC*, 2009, σ. 617–621.
- [9] Τζέι Ντου, Γ. Zhu, J. Xu, Z. Li, και H. Wang, "Μια συμπίεσμένη τροφοδοσία HARQ- πίσω για επικοινωνίες πολλαπλής διανομής συσκευής σε συσκευή," στο *Proceedings of IEEE VTC-Fall*, 2012, pp. 1-5.
- [10] Β. Ζου, Χ. Χου, Σ.-Κιου. Ο Χουάνγκ και ο Χ.-Χ. Chen, "Intracluster συσκευή-σε-συσκευή αλγόριθμος αναμετάδοσης με βέλτιστη χρήση των πόρων," *IEEE Συνλλαγές για την τεχνολογία οχημάτων*, vol. 62, αριθ. 5, σ. 2315-2326, Ιούνιος, το 2013.
- [11] L. Lei, Z. Zhong, C. Lin, και X. Shen, "Χειριστής ελεγχόμενη συσκευή-σε-συσκευή επικοινωνιών σε LTE-προηγμένα δίκτυα," *IEEE Ασύρματες Επικοινωνίες*, vol. 19, όχι. 3, σ. 96–104, 2012.
- [12] Ν. Γκολρεζάι, Α. Φ. Molisch, και Α. Γ. Δημάκης, "Βάση-σταθμός υποβοηθούμενη συσκευή-σε-συσκευή επικοινωνιών για υψηλής απόδοσης ασύρματα δίκτυα βίντεο," στο *Πρακτικά του IEEE ICC*, 2012, σ. 7077–7081.
- [13] Ν. Γκολρεζάι, Α. Γ. Δημάκης και Α. Φ. Molisch, "Συσκευή-σε-συσκευή colletion μέσω καταναμημένης αποθήκευσης," στο *Πρακτικά της IEEE GLOBECOM*, 2012, σ. 2397–2402.
- [14] J. C. Li, M. Lei, και F. Gao, "Συσκευή σε συσκευή (D2D) επικοινωνία σε MU-MIMO κυβελωειδή δίκτυα," στο *Πρακτικά της IEEE GLOBE-COM*, 2012, σ. 3583–3587.
- [15] Ν. Κ. Πράτασκα και Π. Ρορονσκι, "Χαμηλού ρυθμού μηχανή τύπου communi- κατών μέσω ασύρματων συνδέσεων συσκευής προς συσκευή (D2D)," *arXiv προεκτύπωση arXiv:1305.6783*, 2013.
- [16] Χ. Μπάο, U. Λι, εγώ. Ριμάκ, και P. P. Choudhury, "DataSpotting: offload-ing κυβελωειδή κυκλοφορία μέσω της διαχείρισης της συσκευής-σε-συσκευή μεταφορά δεδομένων σε σημεία δεδομένων," *ACM SIGMOBILE Mobile Computing και Επικοινωνιών Αναθεώρηση*, vol. 14, όχι. 3, σ. 37–39, 2010.
- [17] Χ. Γου, Σ. Ταβλντάρ, Σ. Σακοτάι, Τ. Ρίτσαρντσον, I. Λι, Ρ. Λαρόια, και A. Jovicic, "FlashLinQ: Ένα σύγχρονο καταναμημένο χρονοδιάγραμμα για peer-to-peer ad hoc δίκτυα," στο *Πρακτικά του IEEE Allerton Διάσκεψη για την επικοινωνία, τον έλεγχο, και την πληροφορική*, 2010, σ. 514-521.
- [18] 3GPP TR 22.803, "Μελέτη πίστης Feasi για τις υπηρεσίες εγγύτητας (ProSe) (έκδοση 12)," v. 12.2.0, Ιούνιος, 2012.
- [19] 3GPP TR 23.703, "Μελέτη σχετικά με τις βελτιώσεις αρχιτεκτονικής για την υποστήριξη των υπηρεσιών εγγύτητας

- (ProSe) (Release 12)," v. 1.0.0, Δεκέμβριος, 2013.
- [20] X. Λιν, Τζέι. Γ. Αντριους, Α. Γκος, και Ρ. Ratasuk, "Μια επισκόπηση των υπηρεσιών εγγύτητας συσκευής 3GPP σε συσκευή," *IEEE ΚοινοτικόπεριοδικόCommunications*, Δεκέμβριος 2013.
- [21] C.-H. Yu, K. Doppler, C. Ribeiro, και Ο. Tirkkonen, "Επιπτώσεις απόδοσης της εξασθένισης παρεμβολών στην επικοινωνία συσκευής-σε-συσκευή un-declaying κυψελοειδή δίκτυα," στο *Πρακτικά του IEEE PIMRC*, 2009, σ. 858-862.
- [22] C. Xu, L. Song, Z. Han, Q. Zhao, X. Wang, και Β. Jiao, "Παρέμβαση-επίγνωση κατανομή των πόρων για τη συσκευή-σε-συσκευή επικοινωνιών ως υπόστρωμα χρησιμοποιώντας διαδοχική δεύτερη δημοπρασία τιμών," στο *Πρακτικά της IEEE ICC*, 2012, σ. 445-449.
- [23] Σ. Ζου, Χ. Γουάνγκ, Τ. Τσεν, Κιου Χουάνγκ και Τ. Ρενγκ, "Αποτελεσματικό σύστημα ακύρωσης in-terference για την επικοινωνία **ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΗ** που υποστρώνει τα κυψελοειδή δίκτυα," στο *Πρακτικά του IEEE VTC-Fall*, 2010, σ. 1-5.
- [24] W. Xu, L. Liang, H. Zhang, S. Jin, J. C. Li, και Μ. Lei, "Per- formance ενισχυμένη μετάδοση σε συσκευή-σε-συσκευή επικοινωνιών: Beamforming ή ακύρωση παρεμβολής;" στο *Πρακτικά της IEEE GLOBECOM*, 2012, σ. 4296-4301.
- [25] R. Zhang, X. Cheng, L. Yang, και Β. Jiao, "Παρεμβολή-επίγνωση γράφημα με βάση την κατανομή των πόρων για συσκευή-σε-συσκευή επικοινωνιών υπόστρωμα-ing κυψελοειδή δίκτυα," στο *Πρακτικά του IEEE WCNC*, 2013, σ. 140- 145.
- [26] Π. Τζάνις, Β. Κόιβουνεν, Γ. Ριμπέρο, Τζέι. Κόρχονεν, Κ. Ντόπλερ, και Κ. Hugl, «Κατανομή πόρων με επίγνωση παρεμβολών για ραδιοστρώματος συσκευής σε συσκευή κυψελοειδών δικτύων», στο *πλαίσιο Πρακτικά του IEEE VTC- Άνοιξη του 2009*, σ. 1-5.
- [27] H. Min, J. Lee, S. Park, και D. Hong, "Βελτίωση της χωρητικότητας χρησιμοποιώντας μια περιορισμένη περιοχή παρεμβολής **για** συσκευή-σε-συσκευή uplink υποστρώματος κυψελών δικτύων," *IEEE Συναλλαγές για ασύρματες επικοινωνίες*, vol. 10, όχι. 12, σ. 3995-4000, Δεκέμβριος 2011.
- [28] H. E. Elkothy, K. M. Elsayed, και Μ. Η. Ismail, "Εκμετάλλευση της ευθυγράμμισης μεταξύ των φέουν για το ποσοστό ποσού εναντισμέντο σε D2D-enabled κυψελοειδή δίκτυα," στο *Proceedings of IEEE WCNC*, 2012, σ. 1624-1629.
- [29] Υ. Πέι και Υ.-Κ. Liang, "Κατανομή πόρων για συσκευή-σε-συσκευή com-munication επικάλυψη αμφίδρομη κυψελωτά δίκτυα," *IEEE Συναλλαγές για ασύρματη επικοινωνίας*, vol. 12, αριθ. 7, σ. 3611-3621, Ιουλ. το 2013.
- [30] W. ALLIANCE, "Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Προδιαγραφή v1. 1," *WI-FI ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΣΥΜΜΑΧΙΑΣ*, vol. 1, σ. 1-159, 2010.