

Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών

Μαυρόπουλος Ανδρέας ιτ217129

Millimeter wave Communications

Τα millimeter wave (mmWave) wireless communication systems , αντιπροσωπεύουν περισσότερο από έναν αιώνα εξέλιξης στις σύγχρονες επικοινωνίες. Η σύγχρονη κοινωνία βρίσκεται βυθισμένη στην ασύρματη δικτύωση, καθώς οι περισσότεροι από εμάς χρησιμοποιούμε τακτικά cellular networks, wireless local area networks, και personal area networks τα οποία έχουν αναπτυχθεί εκτενώς τα τελευταία χρόνια. Η δημοτικότητα αυτών των τεχνολογιών αναγκάζει τους κατασκευαστές συσκευών και τους προγραμματιστές να αναζητούν συνεχώς μεγαλύτερο radio spectrum για πιο προηγμένες προσφορές. Η ασύρματη επικοινωνία είναι ένα μέσο που επιτρέπει τη μεταφορά της εργασίας, της εκπαίδευσης και της ψυχαγωγίας χωρίς καμία φυσική σύνδεση. Οι δυνατότητες των ασύρματων επικοινωνιών εξακολουθούν να οδηγούν την ανθρώπινη παραγωγικότητα και καινοτομία σε πολλούς τομείς. Το ενδιαφέρον για τα mmWaves είναι ακόμα στα αρχικά του στάδια και καθοδηγείτε απο τους καταναλωτές που επιθυμούν ολο και υψηλότερα data rates απαιτώντας παράλληλα χαμηλότερα delays και συνεχή συνδεσιμότητα σε ασύρματες συσκευές. Στα mmWave το διαθέσιμο φάσμα είναι ασύγκριτο σε σχέση με τα cellular και wireless local area network (WLAN) καθώς λειτουργούν σε συχνότητες κάτω των 10 GHz. Ειδικότερα το unlicensed spectrum στα 60 GHz προσφέρει απο χ10 εως χ100 περισσότερο φασμα από αυτό που διατίθεται για συμβατικά ασύρματα τοπικά δίκτυα.

Τα mmWave βλέπουν ενεργή εμπορική ανάπτυξη σε καταναλωτικές συσκευές μέσω του IEEE 802.11ad [IEE12]. Μπορούν εύκολα να αναπτυχθούν σε όλο τον κόσμο, χάρη στους κανονισμούς παγκόσμιου φάσματος. Οι παγκόσμιες κατανομές φάσματος επιτρέπουν στους κατασκευαστές να αναπτύξουν παγκόσμιες αγορές, όπως αποδεικνύεται από την ευρεία υιοθέτηση και εμπορική επιτυχία των IEEE 802.11b WLANs το 1999. Και πιο πρόσφατα τα IEEE 802.11a, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n και IEEE 802.11ac WLANs που όλα λειτουργούν στο ίδιο φάσμα που διατίθεται παγκοσμίως. Το WLAN πέτυχε επειδή υπήρχε καθολική διεθνής συμφωνία για τη χρήση των ζωνών εθνικής υποδομής πληροφοριών στα 2,4 GHz και 5 GHz, τα οποία επέτρεψαν στους μεγάλους κατασκευαστές να αφιερώσουν σημαντικούς πόρους για τη δημιουργία προϊόντων που θα μπορούσαν να πωληθούν και να χρησιμοποιηθούν παγκοσμίως.

Η βιομηχανία κινητών μόλις αρχίζει να διερευνά παρόμοια εναρμόνιση ραδιοφάσματος για τη χρήση κινητών σε ζώνες συχνοτήτων που βρίσκονται στο φάσμα mmWave.1 με τίτλο "Beyond 4G" ή "5G, νέες έννοιες του δικτύου κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιούν μεγαλύτερου εύρους ζώνης channel bandwidth για καλύτερο mobility coverage. Έτσι όπως τα WLAN έχουν μετακινηθεί από τις συχνότητες μεταφοράς του 1 έως 5 GHz στις πρώτες γενιές τους, τώρα στα 60 GHz, η βιομηχανία κινητών 1 τρισεκατομμυρίου δολαρίων στην ΗΠΑ πρόκειται να ακολουθήσει αυτή την τάση δηλαδή να μετακινηθούν σε συχνότητες mmWave όπου τα μαζικά ποσοστά δεδομένων και οι νέες δυνατότητες θα υποστηριχθούν από μια τεράστια αύξηση του φάσματος.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα mmWave θεωρούνται συνήθως το εύρος των μικροκυματών από 10 έως 1 mm. Αυτό σημαίνει ότι είναι μεγαλύτερα από υπέρυθρα κύματα ή ακτίνες X. Η περιοχή κυμάτων χιλιοστών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

αντιστοιχεί στην περιοχή συχνότητας ραδιοκυμάτων 30-300 GHz και καλείται επίσης: extremely high frequency (EHF) range. Οι υψηλές συχνότητες των κυμάτων χιλιοστών, καθώς και τα χαρακτηριστικά πολλαπλασιασμού τους (δηλαδή οι τρόποι με τους οποίους αλλάζουν ή αλληλεπιδρούν με την ατμόσφαιρα καθώς ταξιδεύουν), τα καθιστούν χρήσιμα για μια ποικιλία εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της μετάδοσης μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, επικοινωνιών κινητών και ραντάρ. Τα mmWave προσφέρουν τα εξής οφέλη:

1. Unlicensed λειτουργία – Δεν απαιτείται καμία άδεια από την ομοσπονδιακή επιτροπή επικοινωνιών
2. Εξαιρετικά ασφαλής λειτουργία - Προκύπτει από μικρές αποστάσεις μετάδοσης
3. High level of frequency re-use enabled - Οι ανάγκες επικοινωνίας των πολλαπλάσιων node μέσα σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή μπορούν να ικανοποιηθούν
4. Fiber – Ταχύτητες μετάδοσης οπτικών στοιχείων
5. Ωριμη τεχνολογία - Αυτό το φάσμα χρησιμοποιείται εδώ και καιρό για τις ασφαλείς επικοινωνίες

GIGABIT WIRELESS COMMUNICATIONS

Αφού γνωρίσαμε την απόδοση του mmWave μπορούμε να αρχίσουμε να σκεφτόμαστε την εφαρμογή του στην ασύρματη επικοινωνία. Με βάση τις τεχνικές απαιτήσεις των εφαρμογών ασύρματων συστημάτων υψηλής ταχύτητας, τόσο ο κλάδος όσο και οι φορείς τυποποίησης πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα ακόλουθα ζητήματα:

1. Η πίεση για αύξηση του ποσοστού δεδομένων θα συνεχιστεί. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει ανάγκη για προηγμένες εφαρμογές, όπως ασύρματα

πολυμέσα υψηλής ευκρίνειας, τα οποία απαιτούν υψηλότερα ποσοστά δεδομένων.

2. Data streaming και download/memory back-up χρόνοι για κινητές συσκευές,θα θέσουν επίσης απαιτήσεις σε κοινόχρηστους πόρους.

Ορισμένες προσεγγίσεις, όπως το IEEE 802.11n, βελτιώνουν τα ποσοστά δεδομένων εξελίσσοντας τα πρότυπα των υφιστάμενων ασύρματων LANs για να αυξήσουν τα ποσοστά δεδομένων σε ταχύτητες έως και 10 φορές ταχύτερες από το IEEE 802.11a ή το 802.11g. Παρόλο που το πρότυπο IEEE 802.11n θα βελτιώσει την σταθερότητα των ασύρματων επικοινωνιών, παρέχεται μόνο μια μέτρια αύξηση του ασύρματου εύρους ζώνης και ο ρυθμός δεδομένων εξακολουθεί να είναι χαμηλότερος από 1 Gbps. Πιο σημαντικά η τεχνολογία 60 GHz προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα προτεινόμενα ή υφιστάμενα συστήματα επικοινωνιών. Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία κυμάτων χιλιοστών έχει καθιερωθεί για πολλές δεκαετίες, τα συστήματα κυμάτων χιλιοστών που είναι διαθέσιμα έχουν αναπτυχθεί κυρίως για στρατιωτικές εφαρμογές. Παρά τα διάφορα πλεονεκτήματα που προσφέρονται, οι επικοινωνίες που βασίζονται σε κύματα χιλιοστών υποφέρουν από μια σειρά κρίσιμων προβλημάτων που πρέπει να επιλυθούν, κυρίως οι απαιτήσεις ποσοστών δεδομένων για WLAN και WPAN.

Δεδομένου ότι υπάρχει ανάγκη διάκρισης μεταξύ των διαφόρων προτύπων για την ευρύτερη εκμετάλλευση της αγοράς, το IEEE 802.15.3c είναι ικανό να παρέχει ποσοστά gigabit και μεγαλύτερα λειτουργικά εύρη. Με αυτά τα ευρη και τους ρυθμούς θα είναι καθήκον για τα συστήματα κυμάτων χιλιοστών να παρέχουν επαρκές περιθώριο ισχύος για να εξασφαλίσουν μια αξιόπιστη σύνδεση επικοινωνίας. Επιπλέον, η καθυστέρηση της εξάπλωσης του υπό εξέταση καναλιού αποτελεί έναν ακόμη περιοριστικό παράγοντα για τη μετάδοση υψηλής ταχύτητας. Οι μεγάλες τιμές εξάπλωσης μπορούν εύκολα να αυξήσουν την πολυπλοκότητα του συστήματος πέρα από το πρακτικό όριο. Η τεχνολογία mmWave είναι σίγουρα η πρώτη επιλογή για την κατασκευή gigabit wireless communications.

COEXISTENCE WITH WIRELESS BACKHAUL

To Millimeter wave communication μπορεί να λειτουργήσει και με άλλες ασύρματες κινητές επικοινωνίες και πρότυπα Για παράδειγμα, η προδιαγραφή 802.16 εφαρμόζεται σε ένα ευρύ RF φάσμα και θα μπορούσε να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε συχνότητα κάτω από 66 GHz. Αν και τα 802.16-2004 και 802.16e έχουν μειώσει της συχνότητες λειτουργίας τους στην περιοχή 2-11 GHz μια σύνδεση κυμάτων χιλιοστών θα μπορούσε ακόμα να λειτουργήσει ως ασύρματη λύση οπισθοχώρου(backhaul). Οι επιλογές για ασύρματο backhaul, με απλά λόγια, είναι ραδιόφωνα υψηλής ισχύος από 60 GHz και 80 GHz. Η μικρή γκάμα αυτών των προϊόντων είναι, σε σχέση με άλλες ασύρματες επιλογές backhaul, η δύναμη της λύσης. Κατά την κατασκευή ενός δικτύου backhaul για την υποστήριξη ενός κύματος χιλιοστών / WiMAX πάροχος υπηρεσιών θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Range and throughput demands of the market
2. Security
3. Quality of service (QoS)
4. Interference mitigation
5. Frequency reuse
6. Rain fade

Range and Throughput

TECHNOLOGY	V-BAND	E-BAND
RANGE	3 KM	5 KM
THROUGHPUT	1 GBS	10 GBS
FREQUENCY	57-65 GHZ	71-84 GHZ
LICENSED	NO	YES

Security

Δεδομένου ότι μια λύση backhaul θα πρέπει να υποστηρίξει έναν σταθμό βάσης που μπορεί να έχει δεκάδες ραδιόφωνα WiMAX που εξυπηρετούν χιλιάδες συνδρομητές επιχειρήσεων, η ασφάλεια του ασύρματου backhaul θα

πρέπει να είναι υψίστης σημασίας για τον πάροχο υπηρεσιών WiMAX. Ένα πολύ στενό beamwidth δεν είναι αρκετό για να εξασφαλίσει καλή ασφάλεια σε οποιαδήποτε ασύρματα δίκτυα. Οι περισσότερες λύσεις backhaul μπορούν να σχεδιαστούν για αυστηρές διαδικασίες ελέγχου ταυτότητας, ακολουθούμενη από εξίσου απαιτητικά προγράμματα κρυπτογράφησης για τη ροή δεδομένων.

Quality of Service

Όταν το ραδιόφωνο κυμάτων χιλιοστών λειτουργεί με ένα σύστημα WiMAX, ένα από τα σημαντικότερα σημεία πώλησης WiMAX είναι η ικανότητά του να δίνει προτεραιότητα στην κυκλοφορία για να παρέχει την καλύτερη δυνατή ποιότητα υπηρεσιών σε σχέση με την κυκλοφορία. Ενδεχομένως, το νούμερο ένα πρόβλημα στο QoS σε ασύρματες συνδέσεις είναι η καθυστέρηση. Τα προϊόντα V-band κυμάτων millimeter και E-Band διατηρούν καθυστέρηση εναντι των αντίστοιχων ασύρματων συνδέσεων τους σε μονοψήφια χιλιοστά του δευτερολέπτου (<10 ms).υτό εξασφαλίζει καλό QoS για ευαίσθητες στο χρόνο τιμές, όπως VoIP και βίντεο.

Interference Mitigation

Οι υπερβολικές παρεμβολές μπορούν να καταρρίψουν μια σύνδεση. Είναι επιτακτική ανάγκη να κατασκευαστεί η λύση backhaul για τον μετριασμό των παρεμβολών όσο το δυνατόν περισσότερο

Frequency Reuse

Ένα πλεονέκτημα της χρήσης των ζωνών 60 και 80 GHz είναι ότι, λόγω της διάδοσης μικρής εμβέλειας, οι συχνότητες backhaul σε όλο το δίκτυο backhaul μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.

Rain Fade

Όπως και με τις υπερβολικές παρεμβολές, οι πάροχοι υπηρεσιών πρέπει να σχεδιάσουν τις λύσεις τους για την αντιμετώπιση των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών που μπορούν να υποβαθμίσουν την απόδοση των δικτύων τους.

Millimeter-Wave Beamforming

Ιστορικά, οι ζώνες mmWave αποκλείστηκαν για χρήση κινητών επικοινωνιών κυρίως λόγω ανησυχιών σχετικά με ζητήματα κάλυψης μικρής εμβέλειας και μη οπτικής σύνδεσης. Θα παρουσιάσω λοιπόν πρόσφατα αποτελέσματα από καμπάνιες μέτρησης καναλιών και την ανάπτυξη προηγμένων αλγορίθμων και ενός πρωτοτύπου, τα οποία αποδεικνύουν σαφώς ότι η ζώνη mmWave μπορεί πράγματι να είναι ένας άξιος υποψήφιος για τα επόμενα συστήματα κινητών (5G).

Τα καθηλωτικά μέσα μαζικής ενημέρωσης που είχαν προηγουμένως περιοριστεί σε ενσύρματα trans-mission κάνουν τώρα μια επιδρομή σε κινητές συσκευές. Τα τελευταία χρόνια, η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών και ο ακαδημαϊκός χώρο επενδύουν σημαντικά ποσά ερευνητικών προσπάθειών στη μακροπρόθεσμη εξέλιξη τέταρτης γενιάς (4G) (LTE) για την παροχή υψηλότερων ποσοστών δεδομένων στους τελικούς χρήστες με αυτοσχεδιασμό της φασματικής αποτελεσματικότητας, αναπτύσσοντας περισσότερες στάσεις και συγκεντρώνοντας περισσότερα φάσματα. Ενώ ορισμένες από τις βελτιώσεις LTE, όπως οι multiple-input multiple-output (MIMO), coordinated multipoint (CoMP), heterogeneous networks (HetNets) και carrier aggregation (CA), παρέχουν την πρόσθετη χωρητικότητα που απαιτείται για τη διατήρηση της αύξησης της κυκλοφορίας για τα επόμενα χρόνια, κανένα από αυτά δεν θεωρείται βιώσιμο για την υποστήριξη των εκατοντάδων φορές περισσότερων απαιτήσεων που προβλέπονται στην λεγόμενη εποχή του 5G.

Ο αγώνας δρόμου για την αναζήτηση καινοτόμων λύσεων που θα επιτρέψουν την εποχή του 5G είχε ξεκινήσει στις αρχές του 2013. Οπου η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε ότι θα επενδύσει 50 εκατομμύρια ευρώ για έρευνα 5G σε πολλά έργα όπως το METIS.

MMWAVE CHANNEL PROPAGATION: THEORY AND MEASUREMENTS

Υπήρξαν ανησυχίες σχετικά με τη χρήση ζωνών συχνότητας mmWave (σε αντίθεση με τις παραδοσιακές ζώνες συχνοτήτων κάτω των 6 GHz) για κινητές επικοινωνίες. Ορισμένες από αυτές τις ανησυχίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά διάδοσης σε υψηλότερες συχνότητες, όπως η υψηλότερη διείσδυση, οι βροχοπτώσεις και οι απώλειες είναι δεδομένες παρόλο που οι πραγματικές ποσότητες πρόσθετων απωλειών διάδοσης ποικίλλουν ανάλογα με το υλικό του κτιρίου. Η πιο συνηθισμένη παρανόηση, ωστόσο, των χαρακτηριστικών διάδοσης σε υψηλότερες συχνότητες είναι ότι πάντα υφίστανται πολύ μεγαλύτερη απώλεια διάδοσης ακόμη και στον ελεύθερο χώρο σε σύγκριση με τις χαμηλότερες συχνότητες και, ως εκ τούτου, δεν επαρκούν για επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας. Ως μία από τις πιο καινοτόμες και αποτελεσματικές λύσεις για την υλοποίηση της προαναφερθείσας όρασης και απαιτήσεων 5G, η χρήση μεγάλων κομματιών υποχρησιμοποιημένου φάσματος στις πολύ υψηλές *fre-quencies* όπως οι ζώνες κυμάτων χιλιοστών (mmWave). Παραδοσιακά, λόγω της απώλειας υψηλής διάδοσης και της έλλειψης οικονομικά αποδοτικών εξαρτημάτων, μεταξύ άλλων λόγων, αυτές οι συχνότητες έχουν χρησιμοποιηθεί ως επί το πλείστον για υπαίθριες συνδέσεις *backhaul* από σημείο σε σημείο ή για τη μεταφορά ρευμάτων πολυμέσων υψηλής ανάλυσης για εσωτερικές εφαρμογές, αλλά όχι για συνδέσμους κυτταρικής πρόσβασης. Προκειμένου να αναδιαρθρωθούν αυτά τα υποεκτρεπόμενα φάσματα για μελλοντικές εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας εξωτερικού χώρου, πρέπει να ξεπεραστούν δύο βασικά εμπόδια: αρκετά μεγάλη γεωγραφική κάλυψη και υποστήριξη της κινητικότητας ακόμη και σε περιβάλλοντα που δεν είναι οπτικά (NLoS), όπου η διαδρομή άμεσης επικοινωνίας μεταξύ του πομπού και του δέκτη εμποδίζεται από εμπόδια.

MMWAVE BEAMFORMING PROTOTYPE

Οι κύριοι σκοποί του πρωτοτύπου mmWave είναι να ελεγχθεί η σκοπιμότητα των ζωνών mmWave για αρκετά μεγάλη γεωγραφική κάλυψη για υπηρεσίες

κινητής τηλεφωνίας και υποστήριξη της κινητικότητας ακόμη και σε περιβάλλοντα NLoS.Ως αποτέλεσμα, αναπτύχθηκε ένα πρωτότυπο προσαρμοστικής δέσμης mmWave, το οποίο περιλαμβάνει μονάδες RF, κεραίες συστοιχίας, μόντεμ βασικής ζώνης και diagnostic monitor (DM). Τόσο οι κεραίες μετάδοσης όσο και λήψης έχουν δύο κανάλια και το καθένα αποτελείται από 32 στοιχεία κεραίας διατεταγμένα με τη μορφή uniform planar array (UPA) με 8 οριζόντια και 4 κατακόρυφα στοιχεία περιορισμένα σε έκταση $60\text{ mm} \times 30\text{ mm}$. Αυτό το μικρό αποτύπωμα κατέστη δυνατό από το σύντομο μήκος κύματος της συχνότητας του φορέα στα 27.925 GHz. Η κεραία συστοιχίας συνδέεται με τη μονάδα RF, η οποία περιέχει ένα σύνολο μετατοπιστών φάσης, αναμικτών και συναφών κυκλωμάτων RF. Το σύνολο των μετατοπιστών φάσης ελέγχει τις φάσεις των σημάτων που αποστέλλονται στις κεραίες για να σχηματίσουν ένα επιθυμητό μοτίβο δέσμης.Ως εκ τούτου, με τον καθορισμό των τιμών μετατόπισης φάσης σε ένα συγκεκριμένο σύνολο, οι κεραίες μετάδοσης και λήψης συστοιχιών είναι ικανές να σχηματίσουν ένα αιχμηρό μοτίβο δέσμης στις προβλεπόμενες γωνίες horizontal (azimuth) και vertical (elevation). Προκειμένου να μειωθεί η πολυπλοκότητα του υλικού, χρησιμοποιήθηκε μια αρχιτεκτονική υπο-συστοιχίας για την ομαδοποίηση 8 κεραιών σε έναν υπο-πίνακα, απαιτώντας έτσι μόνο 4 μονάδες RF ανά κανάλι αντί για 32. Η αναγωγή του αριθμού των διαδρομών RF έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κέρδους της κεραίας στην επιθυμητή γωνία, την μείωση των περιοχών beam scanning και η αύξηση των side lobe levels. Επιπλέον, ένα σύνολο μοτίβων δέσμης είναι προκαθορισμένο για τη μείωση των εναέριων ανατροφοδοτήσεων που απαιτούνται για την προσαρμοστική λειτουργία διαμόρφωσης δέσμης μεταξύ του πομπού και του δέκτη, όπου τα επικαλυπτόμενα μοτίβα δέσμης καλύπτουν την προβλεπόμενη περιοχή εξυπηρέτησης με μια μοναδική δέσμη identifier (ID) για κάθε δέσμη. Αυτά τα αναγνωριστικά δέσμης χρησιμοποιούνται από το μόντεμ baseband για τον έλεγχο των βαρών του μετατοπιστή φάσης και για την τροφοδοσία των πληροφοριών δέσμης μετάδοσης πριν από τη μεταφορά στον πομπό.

PROTOTYPE TEST RESULTS

Χρησιμοποιώντας το πρωτότυπο προσαρμοστικής δέσμης mmWave που περιγράψαμε στο προηγούμενο τμήμα, πραγματοποιήθηκαν ολοκληρωμένες

δοκιμές εσωτερικού και εξωτερικού πεδίου στην πανεπιστημιούπολη των κεντρικών γραφείων της Samsung Electronics στο Suwon της Κορέας. Ένα συνολικό μέγιστο ποσοστό δεδομένων 1.056 Gb/s επιτεύχθηκε στο εργαστήριο με αμελητέο packet error χρησιμοποιώντας δύο κανάλια στη βάση που υποστηρίζουν δύο σταθερούς κινητούς σταθμούς με 528 Mb/s ο καθένας. Τέλος, η υποστήριξη κινητικότητας δοκιμάστηκε επίσης σε μια εγκατάσταση NLoS όπου η άμεση διαδρομή μπλοκαρίστηκε από ένα ψηλό κτίριο και ο κινητός σταθμός κινούνταν με ταχύτητα 8 km/h σε τυχαίες κατευθύνσεις. Τα αποτελέσματα των δοκιμών ήταν εξαιρετικά ενθαρρυντικά και είχαν ως αποτέλεσμα τη μετάδοση χωρίς σφάλματα στα 264 Mb/s και λιγότερο από 1 τοις εκατό BLER στις μεταδόσεις 528 Mb/s λόγω του ταχέως προσαρμοστικού αλγόριθμου beamforming που εκτελείται και στα δύο άκρα επικοινωνιών. Η ικανότητα σχεδιασμού των προσαρμοστικών αλγορίθμων αναζήτησης και εναλλαγής δέσμης που εφαρμόζονται στο πρωτότυπο θα μπορούσαν εύκολα να υποστηρίξουν κινητικότητα μεγαλύτερη από 8 km/h.

Συμπέρασμα

Το ευρύ εύρος ζώνης είναι η πιο αποτελεσματική και απλή μέθοδος για την παροχή των προβλεπόμενων απαιτήσεων δεδομένων για υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας 5G. Καθώς η πρόσθετη διαθεσιμότητα φάσματος για κινητή χρήση στις χαμηλότερες συχνότητες λιγοστεύεται, η σημαντική ποσότητα μη χρησιμοποιημένου φάσματος στις ζώνες mmWave θα μπορούσε ενδεχομένως να δώσει την απάντηση στις πολύ μεγάλες απαιτήσεις εύρους ζώνης για το 5G

Joint Routing and Scheduling in Millimeter-Wave Cellular Networks

Η επικοινωνία κυμάτων χιλιοστών (mmWave) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την αντιμετώπιση της εκθετικής αύξησης της κυκλοφορίας δεδομένων 5G. Τέτοια δίκτυα συνήθως απαιτούν μια πολύ πυκνή ανάπτυξη σταθμών βάσης. Ένα υποσύνολο αυτών, οι λεγόμενοι σταθμοί βάσης μακροεντολών, διαθέτουν σύνδεση υψηλού εύρους ζώνης στο κεντρικό δίκτυο, ενώ οι σταθμοί βάσης αναμετάδοσης συνδέονται ασύρματα. Για να

μειωθεί το κόστος και να αυξηθεί η ευελιξία, απαιτείται ασύρματο backhauling για τη σύνδεση τόσο της μακροεντολής για την αναμετάδοση όσο και της αναμετάδοσης σε σταθμούς βάσης αναμετάδοσης. Τα χαρακτηριστικά της επικοινωνίας mmWave απαιτούν νέα παραδείγματα για τη δρομολόγηση και τον προγραμματισμό τους.

5G AND wave beyond (mmWave) συστήματα επικοινωνίας κινητών αγκαλιάζουν στη ζώνη 10-300 χιλιοστών GHz όπου άφθονο εύρος ζώνης είναι διαθέσιμο για την επίτευξη του ρυθμού δεδομένων Gbps. Μία από τις κύριες προκλήσεις για τα συστήματα mmWave είναι η υψηλή απώλεια διάδοσης. Αν και μπορεί να αντισταθμιστεί μερικώς από τις κατευθυντικές κεραίες. Το αποτελεσματικό εύρος επικοινωνίας ενός σταθμού βάσης mmWave είναι περίπου 100 μέτρα για τυπικές περιπτώσεις χρήσης. Έτσι, η πυκνότητα ανάπτυξης του σταθμού βάσης στο 5G θα είναι σημαντικά υψηλότερη από ό, τι στο 4G. Αυτό οδηγεί σε υψηλό κόστος υποδομής για τους φορείς εκμετάλλευσης. Στην πραγματικότητα, εκτός από το κόστος μίσθωσης του χώρου, η παροχή συνδέσεων backhaul είναι ο κύριος συντελεστής αυτής της δαπάνης, επειδή το δίκτυο πρόσβασης mmWave μπορεί να απαιτήσει συνδέσεις πολλαπλών Gbps πίσω στο κεντρικό δίκτυο. Επί του παρόντος, ένα τέτοιο υψηλό ποσοστό δεδομένων μπορεί να φιλοξενηθεί μόνο από συνδέσμους οπτικών ινών που έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης και είναι άκαμπτοι για αναδιαμόρφωση. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι το mmWave self-backhauling είναι μια οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση για την ενσύρματη οπισθοχώρηση. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα σε ένα NG-RAN (Next Generation Radio Access Network) όπου ένας ή περισσότεροι σταθμοί βάσης 5G (GNBs) έχουν πίσω ίνες στο κεντρικό δίκτυο και λειτουργούν ως πύλες για τα άλλα GNBs. Αναφερόμαστε στα gateway gNBs ως macro BSs και τα άλλα GNBs ως relay Bss. Επιπλέον, η κατευθυντικότητα της επικοινωνίας mmWave μειώνει ή αφαιρεί τις ασύρματες παρεμβολές backhaul και επιτρέπει τον ταυτόχρονο προγραμματισμό πολλαπλών συνδέσεων μέσω του ίδιου καναλιού, εφόσον οι ακτίνες κεραίας τους δεν επικαλύπτονται. Ωστόσο, ο αριθμός των ταυτόχρονων ροών δεδομένων που μπορεί να χειριστεί ένας σταθμός βάσης περιορίζεται από τον αριθμό των αλυσίδων ραδιοσυχνοτήτων (RF). Επιπλέον, ένας σταθμός βάσης μπορεί να υποστηρίξει μόνο επικοινωνία μισής διπλής όψης, δηλ. δεν μπορεί να λειτουργήσει ως πομπός και δέκτης ταυτόχρονα.

Εως τώρα μεγάλο μέρος της έρευνας σχετικά με τα mmWave έχει αφιερωθεί σε θέματα που αντιμετωπίζουν οι χρήστες κινητών συσκευών στα δίκτυα πρόσβασης. Το πώς να μεγιστοποιηθεί η απόδοση στα δίκτυα backhaul mmWave έχει λάβει λιγότερη προσοχή. Ο προγραμματισμός μετάδοσης που ενσωματώνει τη δυνατότητα δρομολόγησης πολλαπλών ιχνών είναι ένα πολύ κρίσιμο ερευνητικό ερώτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Ένας naïve scheduling που επιτρέπει σε μια macro BS να εξυπηρετεί όλα τα relay Bss στο macrocell με έναν round robin τρόπο δεν είναι ούτε πρακτικό ούτε αποτελεσματικό. Εάν μια σύνδεση από relay BS σε macro BS είναι ασθενέστερη από τις συνδέσεις της με άλλες κοντινές relay BS, ένα χρονοδιάγραμμα που επιτρέπει τη δρομολόγηση multi-hop μπορεί να είναι πιο ευνοϊκό, καθώς ανακουφίζει από την συμφόρηση στα macro Bss. Ταυτόχρονα, οι περιορισμένες παρεμβολές στις συχνότητες mmWave καθιστούν αποτελεσματική τη μεγιστοποίηση της χωρικής επαναχρησιμοποίησης και τη λειτουργία όσο το δυνατόν πιο πολλών ρευμάτων δεδομένων ταυτόχρονα.

MMWAVE APPLICATIONS IN COMMUNICATION

A) Small Cell Access

Έχει προταθεί να επικεντρωθούμε στα μικρά κύτταρα για να επιτύχουμε αύξηση κατά 10.000 φορές έως το 2030 για να παρέχουμε χωρητικότητα δικτύου για να συμβαδίσει με την τεράστια αύξηση της ζήτησης κινητής κυκλοφορίας. WLANs ή WPANs που υποστηρίζονται από μικρά κύτταρα, γίνονται αποδεκτές ελπιδοφόρες λύσεις για την παροχή αυτής της ζήτησης με 5G. MmWave μπορούν να υποστηρίξουν εφαρμογές πολυμέσων ευρείας ζώνης, όπως μεταφορά δεδομένων υψηλής ταχύτητας με εύρος ζώνης ποσοστών gigabit. Επίσης mmWave small cells μπορούν να παρέχουν ροή σε πραγματικό χρόνο για τεχνολογίες HDTV και gigabit ethernet όπως και για ασύρματα παιχνίδια.

B) Cellular Access

Πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης του mmWave προσφέρει μεγάλη ευκαιρία να χρησιμοποιείτε για κινητή πρόσβαση 5G. Η σκοπιμότητα και η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής της επικοινωνίας mmWave στην κινητή

πρόσβαση, με βάση ευρύχωρες εκστρατείες μέτρησης διάδοσης στις συχνότητες mmWave, παρουσιάζονται από το μέγεθος των κυττάρων των 200 μέτρων στα 28 GHz και 38 GHz. Τα κέρδη της ικανότητας των κατευθυντικές κεραιών, οι οποίες βασίζονται στις αυθαίρετες γωνίες λήψης, μετρήθηκαν και τα αποτελέσματα προσδιορίστηκαν, ότι είναι 20 φορές μεγαλύτερα από 4G. Αυτά τα κέρδη είναι ελπιδοφόρα και στις πιο ισχυρές μεταδόσεις που στέλνουν και λαμβάνουν οδηγίες από της κατευθυντικές κεραιές, ειδικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην απόδοση στις επικοινωνίες συσκευής-συσκευής (D2D). ο D2D πρέπει να ενεργοποιείται σε κινητά συστήματα μέσω mmWave για την προώθηση εφαρμογών από την πηγή που περιλαμβάνουν επικοινωνία με κοντινές συσκευές. Μια αρχιτεκτονική δικτύου κινητής τηλεφωνίας D2D 5G προσφέρεται μέσω των mmWave. Όταν δυο κινητά συστήματα εισέρχονται εντατικά στο σύστημα κυττάρων μπορούν να ενεργοποιήσουν δύο λειτουργίες D2D, που περιλαμβάνει επίσης διακυτταρικές και ενδοκυτταρικές μεταδόσεις D2D. Υπηρεσίες όπως backhaul link, access link, intra-cellular και inter-cell D2D links ενεργοποιούνται. Τα αποτελεσματικά και ευέλικτα συστήματα διαχείρισης ραδιοφώνικου σήματος, συμπεριλαμβανομένης της μετάδοσης, βασίστηκαν σε σχέδιο που υποστηρίζει, mmWave backhaul, point-to-multipoint, και NLOS. Ο κοινός σχεδιασμός της οπισθοχώρησης και της πρόσβασης θα βελτιστοποιήσει περαιτέρω την κατανομή των πόρων στο in-band backhaul. Πρόσφατα, ένα κοινό σύστημα σχεδιασμού μετάδοσης για την πρόσβαση στο ραδιόφωνο και την αναμόρφωση μικρών κυττάρων στα 60 GHz ήταν το D2DMAC. Το D2DMAC προτάθηκε ως μέθοδος επιλογής διαδρομής, η οποία αποσκοπεί στη βελτίωση των επιδόσεων και επίσης στην ενεργοποίηση μεταδόσεων D2D

C) Wireless Backhaul

Τα Small cells χρησιμοποιούνται εκτενώς στο 5G. Η σύνδεση των σταθμών βάσης μεταξύ τους και με το δίκτυο είναι ακριβή λόγω της χρήσης ινών με βάση το backhaul στο 5G. Επιπλέον, η σύνδεση μέσω ασύρματου backhaul είναι πιο εύκολη, ευέλικτη και οικονομικά αποδοτική στην ανάπτυξη. Οι ζώνες 60, 71-76 και 81-86 GHz, με υπάρχον ασύρματο backhaul μπορούν να παρέχουν μερικά ποσοστά δεδομένων Gbps. Έτσι, μπορεί να είναι μια

βιώσιμη λύση για τα Small cells. Το E-band backhaul υποστηρίζει τη μετάδοση μεταξύ Bss και small cell base stations.

Future of Wireless Communication Systems

Το 5G and beyond θα περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές εξελίξεις που επιτρέπουν καινοτόμες εφαρμογές όπως wireless backhauling, Augmented/Virtual Reality (AR/VR), και 8K video streaming. Τα 5G ασύρματα συστήματα επικοινωνίας χρησιμοποιούν την ζώνη χιλιοστών-κυμάτων (mmWave). Ενώ αυτή η ζώνη προσφέρει πρωτοφανή απόδοση χάρη στο μεγάλο διαθέσιμο εύρος ζώνης, υποφέρει επίσης από μεγαλύτερη απώλεια διάδοσης σε σύγκριση με τη ζώνη sub-6 GHz. Το χαρακτηριστικό αυτό επιβάλλει την πλήρη επανεξέταση του παραδοσιακού επικοινωνιακού συστήματος. Για να εξασφαλιστεί επαρκής λαμβανόμενη ισχύς σήματος, τα συστήματα mmWave χρησιμοποιούν κατευθυντικές δέσμες που σχηματίζονται από συστοιχίες κεραιών, δηλαδή Beamforming. Το beamforming εστιάζει την ισχύ (τόσο στη μετάδοση όσο και στη λήψη) προς την επιλεγμένη κατεύθυνση, κατευθύνοντας σωστά τα στοιχεία της κεραίας της συστοιχίας κεραιών.

Μια ρεαλιστική πλατφόρμα που χαρακτηρίζει με ακρίβεια το περιβάλλον διάδοσης είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση και την ανάπτυξη αποτελεσματικών αλγορίθμων και μοντέλων κατανομής ραδιο-πόρων και εκτίμησης καναλιών, καθώς και συστημάτων συστοιχίας κεραιών που θα αντιμετωπίσουν αυτές τις προκλήσεις. Μέχρι σήμερα, η έρευνα και η ανάπτυξη έχουν διεξαχθεί ξεχωριστά χρησιμοποιώντας εργαλεία και πλατφόρμες που δεν είναι ενσωματωμένα και γενικά δεν είναι συμβατά. Αυτό αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στην ανάπτυξη και την ανάπτυξη συστημάτων κυμάτων χιλιοστών μελλοντικής γενιάς. Για αυτόν λοιπόν τον λόγο η ομάδα του NIST ανέπτυξε μια ρεαλιστική πλατφόρμα που περιλαμβάνει ακριβή χαρακτηρισμό του περιβάλλοντος διάδοσης καναλιών το :TheQuasi-Deterministic (Q-D)Framework.

Ενώ η ανάπτυξη τυποποιημένων προδιαγραφών για το IEEE 802.11ad/ay είναι πλήρης, η καινοτόμος έρευνα με τη χρήση συσκευών IEEE 802.11ad/ay

εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση λόγω του απαγορευτικού κόστους του εξοπλισμού κλινών δοκιμής και της έλλειψης ανοικτού κώδικα και ευέλικτων πλατφορμών. Το TheQuasi-Deterministic (Q-D)Framework έχει ως στόχο να ξεπεράσει ορισμένες από αυτές τις προκλήσεις παρέχοντας στους ερευνητές της κοινότητας mmWave ένα σύνολο εργαλείων υψηλής πιστότητας για την αξιολόγηση και την καλύτερη κατανόηση των αλληλεπιδραστικών πρωτοκόλλων IEEE 802.11ad/ay.

Η κατευθυντικότητα της επικοινωνίας θέτει μια σειρά από νέες προκλήσεις, όπως: Η beamforming απαιτεί να επιλέξει και να προσαρμόσει τα κατευθυντικά beams για χρήση μεταξύ δύο κόμβων που είναι πρόθυμοι να επικοινωνήσουν. Το Beamforming Training και Tracking είναι υψίστης σημασίας για τις επικοινωνίες mmWave καθώς οδηγεί την απόδοση των συνδέσεων επικοινωνίας. Η αρχική προσέγγιση, που εισήχθη στο IEEE 802.11ad ήταν να πραγματοποιηθεί μια εξαντλητική αναζήτηση μεταξύ όλων των πιθανών συνδυασμών ακτίνων. Ωστόσο, υπάρχουν προφανή ζητήματα επεκτασιμότητας με αυτήν την προσέγγιση, ειδικά στο πλαίσιο των συστημάτων MIMO. Ως εκ τούτου, απαιτούνται πιο αποτελεσματικοί αλγόριθμοι Training/Tracking. Τεχνικές εκτίμησης προσαρμοσμένες στα χαρακτηριστικά διάδοσης mmWave.

Αναφορές

1. Introduction to Millimeter Wave Wireless Communications (Theodore S. Rappaport, Robert W. Heath, Robert C. Daniels, James N. Murdock)
2. Millimeter Wave Communication Systems (Kao-Cheng Huang, Zhaocheng Wang)
3. Millimeter-Wave Beamforming as an Enabling Technology for 5G Cellular Communications: Theoretical Feasibility and Prototype Results (Wonil Roh, Ji-Yun Seol, JeongHo Park, Byunghwan Lee, Jaekon Lee, Yungsoo Kim, Jaeweon Cho, and Kyungwhoon Cheun)
4. Optimal and Approximation Algorithms for Joint Routing and Scheduling in Millimeter-Wave Cellular Networks (Dingwen Yuan, Hsuan-Yin Lin, Jörg Widmer, Matthias Hollick)
5. A Review of Millimeter Wave Communication for 5G (Cihat Şeker, Muhammet Tahir Güneşer, Turgut Ozturk)
6. Future Wireless Communications Systems and Protocols (NIST)