



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Ειδίκευση : Ροή Δικτύων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΔΙΑΡΘΡΩΣΙΜΕΣ ΕΥΦΥΕΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΠΕΡΑΝ ΤΗ 5ΗΣ ΓΕΝΕΑΣ

Γεώργιος Χατζηγεωργίου-Καραμολέγκου(cse46569)

Αιγάλεω, Ιούλιος 2023

Επιβλέπων: Νικόλαος Μυριδάκης, Καθηγητής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδίαση συγγραφής διπλωματικής εργασίας

Γεώργιος Χατζηγεωργίου-Καραμολέγκου

A.M. 71346569

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Μυριδάκης

Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜ/ΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΜΥΡΙΔΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	Επίκουρος Καθηγητής	
2	ΚΑΡΚΑΖΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ	Αναπληρωτής Καθηγητής	
3	ΜΑΥΡΟΜΜΑΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ	Λέκτορας	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Γεώργιος Χατζηγεωργίου του Μιχαήλ, με αριθμό μητρώου 71346569, φοιτητής/τρια του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου». Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι την απόκτηση του πτυχίου μου και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς συναδέλφους και καθηγητές για τις πολύτιμες εμπειρίες και γνώσεις που μου προσέφεραν. Είμαι ευγνώμων για κάθε συναναστροφή μου από την πρώτη μου μέρα ως σπουδαστής στο τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών και Υπολογιστικών Συστημάτων του ΤΕΙ Πειραιά. Θα ήθελα με τη σειρά μου να ευχαριστήσω τους καθηγητές του προπτυχιακού κύκλου σπουδών οι οποίοι μου μετέφεραν τις γνώσεις που έχω σήμερα και συνέβαλαν στο να «δημιουργήσω εκ νέου» τον εαυτό μου. Την προσπάθειά μου αυτή υποστήριξε ιδιαίτερα ο επιβλέπων καθηγητής μου, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω καθώς με συμβούλευε και με βοήθησε να φέρω εις πέρας την διπλωματική μου εργασία, λύνοντάς μου κάθε απορία που μου προέκυψε. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου η οποία καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου με εμπύχωνε και με υποστήριζε προκειμένου να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΕΣ ΕΞΥΠΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ: ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ RIS	32
2.1. Συντονισμός κυκλώματος	33
2.2. Γεωμετρικός συντονισμός.....	37
2.3. Ρύθμιση υλικού	38
2.4. Εξασθένιση καναλιού.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	48
3.1. Ανάλυση απόδοσης.....	48
3.1.1 Συγκριτική μελέτη μεταξύ RIS με δίκτυα ρελέ και επιφανειών τυχαίας φάσης.....	48
3.1.2 Μετρήσιμη μετρική απόδοση των RIS: Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας555	
3.2. Τεχνικές και αλγόριθμοι βελτιστοποίησης655	
3.2.1 Τεχνικές παθητικής διαμόρφωσης δέσμης655	
3.2.2 Ενεργητική και παθητική διαμόρφωση δέσμης: Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας677	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΠΤΥΞΗ RIS 1055	
5.1. Γιατί είναι σημαντική η τοποθεσία του RIS;	105
5.2. Ανάπτυξη RIS: Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας1077	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	114
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	125
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	127

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

RIS	Επαναδιαμορφώσιμες Έξυπνες Επιφάνειες(Reconfigurable Intelligent Systems)
SNR	Λόγου Σήματος προς Θόρυβο(Signal-to-Noise Ratio)
SINR	Λόγου Σήματος προς Παρεμβολή (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)
VLC	Επικοινωνία Ορατού Φωτός(Visible light communication)
PES	Συστήματα Σφαλμάτων Κατάδειξης (Pointing Error Systems)
FSO	Οπτικά Ελεύθερου Χώρου(Free Space Optics)
PRESS	Προγραμματιζόμενο Ραδιοφωνικό Περιβάλλον για Έξυπνους Χώρους(Programmable Radio Environment for

	Smart Spaces)
SMM	Χωρικοί Διαμορφωτές Μικροκυμάτων(Spatial Metamorphic Mechanism)
OFDMA	Πολλαπλή Πρόσβαση με Ορθογώνια Διάρθρωση συχνότητας (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access)
OFDM	Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)
SSK	Διαμόρφωσης Πλήκτρων Μετατόπισης Χώρου(SM/space Shift Keying)
MIMO	Πολλαπλή Είσοδος και η Πολλαπλή Έξοδος(Multiple-Input and Multiple-Output)
FPGA	Συστοιχία Επιτόπια Προγραμματιζόμενων Πυλών (Field Programmable Gate Array)
IoT	Διαδικτύου των Πραγμάτων(Internet Of Things)

EE	Ενεργειακή Αποδοτικότητα(Energy Efficiency)
SE	Φασματική Αποδοτικότητα (Spectral Efficiency)
SRE	Έξυπνα Ασύρματα Περιβάλλοντα(Site Reliability Engineering)
FSS	Επιφάνεια Επιλογής Συχνότητας(Frequency Selection Surface)
PWE	Προγραμματιζόμενο Ασύρματο Περιβάλλον(Programmable Wireless Environment)
CSI	Πληροφορίες Κατάστασης Καναλιού (Channel State Information)
BS	Σταθμοί Βάσης(Base Stations)
MEMS	Μικροηλεκτρομηχανικά Συστήματα (Microelectromechanical Systems)
HIS	Επιφάνειες Υψηλής Σύνθετης Αντίστασης(High

	Impedance Surfaces)
LOS	Οπτική Επαφή(Line Of Sight)
N-LOS	Μη Οπτική Επαφή(Ntrou-Line Of Sight)
QoS	Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Services)
IWW	Ποιότητα Υπηρεσιών(Intelligent Wireless Wall)
AF	Αναμετάδοση Ενίσχυσης και Προώθησης(Amplify and Forward)
BER	Ποσοστό Σφάλματος bit (Bit Error Rate)
SDR	Ραδιόφωνο που Καθορίζεται από Λογισμικό (Software-Defined Radio)
MISO	Πολλαπλών Εισόδων Μονής Εξόδου(Multiple-Input Single-Output)
SISO	Μονής Εισόδου Μονής Εξόδου(Single-Input Single-Output)

DE	Ντετερμινιστικού Ισοδύναμου(Determinist ic Equivalent)
LIS	Εργαστηριακό Πληροφοριακό Σύστημα (Laboratory Information System)
SCM	Μεγιστοποίηση Ισχυρότερου CIR (strongest-CIR maximization)
RBM	Ανακλώμενο Πίνακα Διαμόρφωσης Δέσμης(Reflected beamforming table)
SDR	Ραδιόφωνο Καθορισμένο από Λογισμικό (Software Defined Radio)
SDP	Κυρτό Ημικαθορισμένο Πρόγραμμα(Semi- Defined Program)
QCQP	Μη Κυρτού Τετραγωνικά Περιορισμένου Τετραγωνικού Προγράμματος(Quadrati cally Constrained

	Quadratic Program)
GMD	Γεωμετρική Μέση Αποσύνθεση (Geometric Mean Decay)
ASER	Μέση Πιθανότητα Σφάλματος (Average Symbol Error)
BnB	Διακλάδωση και Δέσμευση (Branch and Bound)
ULLC	Εξαιρετικά Αξιόπιστο Χαμηλό Λανθάνοντα Χρόνο (Ultra-reliable Low Latency)
QUBO	Τετραγωνική Δυαδική Βελτιστοποίηση χωρίς Περιορισμούς (Quadratic Unconstrained Binary Optimization)
IRMA	Επαναληπτική Προσέγγιση Μεγιστοποίησης Κατάταξης (Iterative Rank Maximization Approach)

MISO	Πολλαπλή Είσοδος Μονή Έξοδος (Multi-Input Single- Output)
PGM	Μέθοδο Προβαλλόμενης Κλίσης(Phase Gradient Metasurface)
CNN	Συνελικτικό Νευρωνικό Δίκτυο(Convolutional Neural Network)
CSCG	Μέθοδος Κατανομής Κυκλικά Συμμετρικού Μιγαδικού Gaussian(Cyclically Symmetric Complex Gaussian)
MSE	Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Mean Square Error)
MMSE	Ελάχιστο Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Minimum Mean Square Error)
BADVAMP	Διγραμμικός Προσαρμοστικός Διανυσματικός Αλγόριθμος κατά Προσέγγιση Μετάδοσης Μηνυμάτων(Bilinear Adaptive Vector

	Approximate Message Passing)
BCD	Κάθοδος Συντεταγμένων Μπλοκ (Block Coordinate Descent)
PARAFAC	Αποσύνθεση Παράλληλου Παράγοντα (Parallel Factor)
SCA	Διαδοχική Κυρτή Προσέγγιση (Successive Convex Approximation)
PSO	Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων
NOMA	Μη ορθογώνια Πολλαπλή Πρόσβαση (Non-Orthogonal Multiple Access)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει πολλή έρευνα με τη χρήση επαναδιαμορφώσιμων έξυπνων επιφανειών (RIS) σε ασύρματα δίκτυα μεγάλης εμβέλειας για την ανάπτυξη έξυπνων ασύρματων περιβαλλόντων. Σε ένα RIS, οι επιφάνειες μπορούν να ελέγχουν τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων προσπίπτουσας σε ένα προγραμματιζόμενο έξυπνο ασύρματο περιβάλλον [1]. Παρέχει έναν τρόπο να μετατρέψουμε σκόπιμα την υλοποίηση ενός καναλιού, αλλάζοντας το σε ένα ελεγχόμενο σύνολο συσκευών που μπορούν να βελτιστοποιηθούν για να μεγιστοποιήσουν τη συνολική απόδοση του συστήματος. Το RIS είναι επομένως μια τεχνητή επιφάνεια κατασκευασμένη από ηλεκτρομαγνητικά (EM) υλικά που ελέγχονται ηλεκτρονικά από εμφυτευμένα ηλεκτρονικά. Είναι μια νέα οικονομικά αποδοτική λύση που βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση και τη φασματική απόδοση των ασύρματων επικοινωνιών.

Οι επιφάνειες αυτές έχουν μια μοναδική ικανότητα να επικοινωνούν ασύρματα μεταξύ τους. Μια πρόσφατη έρευνα σχετικά για το RIS βασίζεται στη θεωρητική εκτίμηση του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR), στη μεγιστοποίηση του λόγου σήματος προς παρεμβολή (SINR), σε λύσεις ασφάλειας φυσικού επιπέδου, σε εφαρμογές γνωστικού ασύρματων συνδέσμου και σε λύσεις τεχνητής νοημοσύνης (όπως βαθιά μάθηση). [2] Τον τελευταίο καιρό, πολλοί ακαδημαϊκοί έχουν δημοσιεύσει πολλές έρευνες και νέες λύσεις που σχετίζονται με το PES. Ορισμένοι συγγραφείς περιγράφουν το RIS χρησιμοποιώντας έννοιες όπως επαναδιαμορφώσιμες έξυπνες επιφάνειες, έξυπνες ανακλαστικές επιφάνειες και τεχνητοί χώροι ασύρματων συνδέσμων [3]. Έχουν επίσης μελετηθεί μέθοδοι μηχανικής μάθησης, λύσεις προστασίας φυσικών επιπέδων και δυνατότητες έξυπνης επιφάνειας για κύματα χιλιοστών (mmWave), επικοινωνίας ορατού φωτός (VLC) και οπτικά ελεύθερου χώρου (FSO). Επιπλέον, η πρώτη προσπάθεια ενσωμάτωσης του RIS με τα σχήματα OFDM και SM/space shift keying (SSK) όπως αναφέρεται και στο [4]. Τα τελευταία χρόνια, οι ερευνητές έχουν αξιολογήσει τα θεωρητικά παράγωγα SNR και SEP, την εκτίμηση καναλιού, τη βελτίωση του λόγου σήματος προς παρεμβολή (SINR) του RIS και τα προβλήματα που προκαλεί η βελτιστοποίησης κοινής ενεργητικής και παθητικής δέσμης [5].

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι ερευνητές μελέτησαν την πιθανότητα διακοπής λειτουργίας, τον ρυθμό ασυμπτωτικών δεδομένων και την φασματική απόδοση ανοδικής ζεύξης. Βέβαια, η χρήση εργαλείων μηχανικής εκμάθησης, των λύσεων ασφάλειας φυσικού επιπέδου και οι δυνατότητες των έξυπνων επιφανειών για εφαρμογές mmWave/THz έχουν διερευνηθεί τα τελευταία χρόνια σύμφωνα με τις παρακάτω αναφορές[6, 7].

Η αναδιαμορφώσιμη ευφυή επιφάνεια, σύμφωνα με έρευνες, δημιουργεί νέες ευκαιρίες για επικοινωνίες mmWave υποστηρίζοντας τη μετάδοση MIMO με καλύτερη απόδοση και βελτιώνοντας τη φασματική απόδοση στις επικοινωνίες mmWave. Το RIS μπορεί να αλλάξει τη ραδιοδιάδοση των καναλιών mmWave MIMO ρυθμίζοντας παθητικά την κατεύθυνση των προσπιπτόντων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Λόγω της υψηλότερης απόδοσής του από τα συμβατικά συστήματα MIMO, το RIS έχει προσελκύσει πρόσφατα μεγάλη προσοχή ως πιθανή τεχνολογία για FSO και υβριδικές επικοινωνίες RF/FSO. Επιπλέον, η αναδιαμορφώσιμη ευφυή επιφάνεια ως τεχνολογία ασύρματης μετάδοσης σε συνδυασμό με το υβριδικό RF/FSO μπορεί να αυξήσει σημαντικά το κέρδος, ενώ μειώνει την πολυπλοκότητα και το κόστος σχεδιασμού σε σύγκριση με δίκτυα ενίσχυσης πολλαπλών κεραιών και αναμετάδοσης με λιγότερες κεραιές.

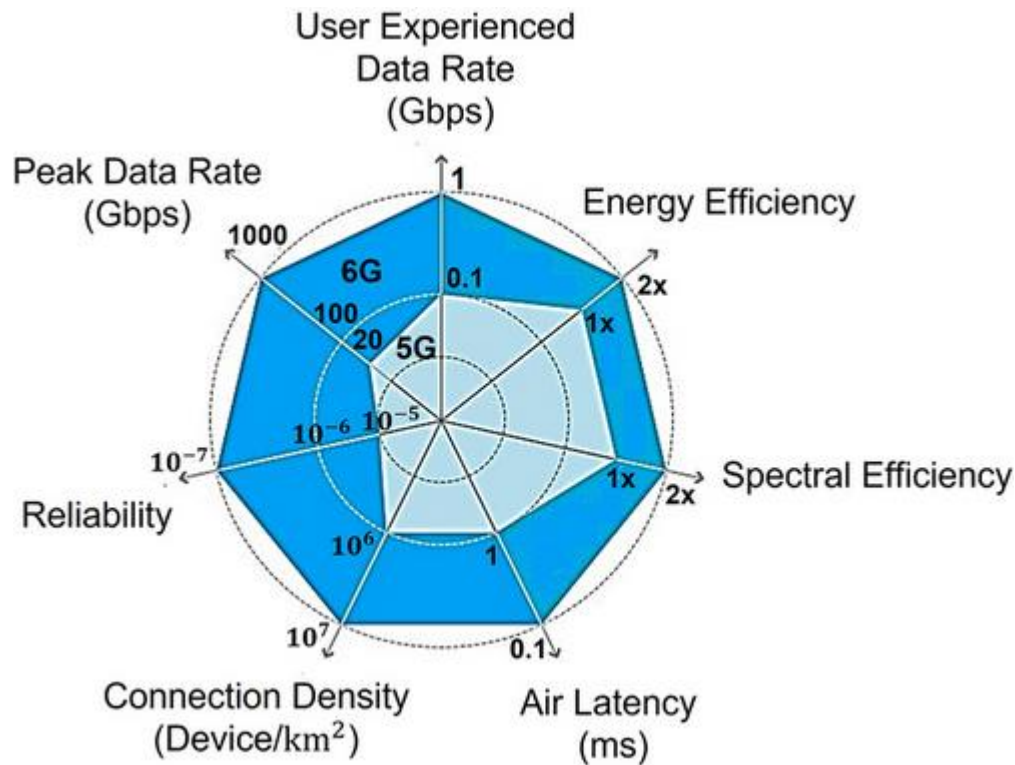
Τα δίκτυα VLC και υβριδικά VLC-RF με υποβοήθηση RIS παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες αύξησης της χωρητικότητας, της απόδοσης και της κάλυψης. Αυτή η ενοποίηση έχει τη δυνατότητα να παρέχει μια ισχυρή λύση για μελλοντικές ασύρματες εφαρμογές, καθώς μπορεί να ξεπεράσει αποτελεσματικά τα εμπόδια οπτικής επαφής σε εξαιρετικά δυναμικές ρυθμίσεις, όπως οι εφαρμογές οχημάτων. Ακόμα, βοηθά στην αποφυγή σημείων συμφόρησης ενώ επιτρέπει πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ στοιχείων δικτύου [8, 9]. Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα, το RIS μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση και τη συνδεσιμότητα των drones, ειδικά όταν υποστηρίζονται πολλές συσκευές ταυτόχρονα με διαφορετικές αστοχίες καναλιών. Οι συγγραφείς στο [10, 11] επικεντρώνονται στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ασφάλειας του συστήματος μεγιστοποιώντας ταυτόχρονα τον προσανατολισμό του UAV, τη μετατόπιση φάσης του RIS, τη συσχέτιση του χρήστη και την ισχύ μετάδοσης.

Η κύρια συμβολή αυτής της εργασίας είναι μια λεπτομερής ενημερωμένη έρευνα τεχνολογιών και μεταεπιφανειών μεγάλης κλίμακας που βασίζονται σε RIS με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Επιπλέον, εισάγονται διάφορες νέες εφαρμογές του RIS, όπως το ενεργό RIS και το μοντέλο σήματος του, και η απόδοσή του συγκρίνεται με αυτή του παθητικού RIS. Οι διαφορές τους συζητούνται σχετικά με τον προϋπολογισμό σύνδεσης για τη συνδεσιμότητα. Για να ωφεληθεί τη συνολική απόδοση του συστήματος, στη συνέχεια αντιμετωπίζουμε τις προκλήσεις των ευφών επιφανειών και επισημαίνουμε τις πιθανές ευκαιρίες εάν οι προκλήσεις μπορούν να ξεπεραστούν. Στη συνέχεια, εξετάζονται ορισμένες νέες δομές RIS με δυνατότητα προγραμματισμού πεδίου (FPGA) με βάση δυναμικά ελεγχόμενες δομές RIS. Εν κατακλείδι, παρέχεται μια λεπτομερή επισκόπηση των συστημάτων επικοινωνίας με τη βοήθεια RIS, της σύγκρισης παραμέτρων απόδοσης, των εφαρμογών και της συνεχιζόμενης και μελλοντικής έρευνας.

Η οργάνωση αυτού του εγγράφου παρουσιάζεται ως εξής. Στην ενότητα 2 αναλύονται οι υπάρχουσες και οι πρόσφατες τεχνολογίες επικοινωνίας που βασίζονται σε Ευφείς επιφάνειες με πρόσφατα συστήματα τελευταίας τεχνολογίας. Η ενότητα 3 περιγράφει την αρχή λειτουργίας του RIS, το περιβάλλον έξυπνου ασύρματου συνδέσμου υποβοηθούμενο από RIS, τους σχετικούς περιορισμούς του και τη σύγκριση παραμέτρων απόδοσης RIS. Η αρχή και η λειτουργία των μεταλλικών συζητούνται στην Ενότητα 4. Σύγκριση απόδοσης ενεργών/μετατοπίσεων φάσης υλοποίησης RIS που βασίζεται σε υγρούς κρυστάλλους και νέων μοντέλων ενεργού σήματος RIS συζητούνται στην Ενότητα 5. Με βάση το FPGA με τη βοήθεια RIS και οι ενσωματωμένες αρχιτεκτονικές του συζητούνται στην Ενότητα 6. Η Ενότητα 7 παρουσιάζει τις εφαρμογές και τις μελλοντικές κατευθύνσεις της έρευνας. Στο τέλος αυτής της εργασίας, παρουσιάζεται η ολοκλήρωση της και τελειώνει στην Ενότητα 8.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΕΣ ΕΞΥΠΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ: ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Οι εξελικτικές πτυχές της πέμπτης γενιάς (5G) έχουν κερδίσει σημαντική υποστήριξη, και έχουν οδηγήσει στην πολλά υποσχόμενη επαναστατική προοπτική του 5G, ενός συστήματος που λειτουργεί σχεδόν εξ ολοκλήρου σε συχνότητες χιλιοστομετρικών κυμάτων (mmWave) επιτρέποντας μια σειρά υπηρεσιών Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) να παραμείνουν μέχρι στιγμής και σύμφωνα με τους συγγραφείς μια οφθαλμαπάτη [1,2]. Ωστόσο, η ακαδημαϊκή κοινότητα και η βιομηχανία στοχεύουν στην ικανοποίηση αυστηρότερων απαιτήσεων από το 5G, όπως τους εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς δεδομένων των gigabits ανά δευτερόλεπτο (Gbps), την ενεργειακή αποδοτικότητα (EE), την παγκόσμια κάλυψη και συνδεσιμότητα, την φασματική αποδοτικότητα (SE), καθώς και την υψηλή αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση στον αέρα. Βέβαια, έχουμε μεγάλες ελπίδες για το μέλλον πέρα από το 5G (B5G) [2, 3]. Η Εικόνα 1 παρουσιάζει το όραμα και τις προσδοκίες για τις βασικές απαιτήσεις απόδοσης του 6G [4] σε σύγκριση με το 5G. Σε σύγκριση με το 5G, το 6G πρέπει να προσφέρει πολύ υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Σύμφωνα με έρευνες ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων για το 5G προοριζόταν να είναι 20 Gbps, ενώ ο στόχος για το 6G είναι να προσφέρει μέγιστη ταχύτητα δεδομένων 1000 Gbps και ρυθμό δεδομένων εμπειρίας χρήστη 1 Gbps. Ολόκληρη η απόδοση του δικτύου πρέπει να βελτιωθεί προκειμένου να παρέχονται προηγμένες υπηρεσίες πολυμέσων σε μεγάλο αριθμό χρηστών, με στόχο την επίτευξη φασματικής απόδοσης διπλάσιας από το 5G. Ως αποτέλεσμα, είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη βιώσιμα νέων και εφευρετικών τεχνολογιών, για να καταστεί δυνατή η μελλοντική αύξηση της χωρητικότητας του ασύρματου δικτύου με μέτριο και διαχειρίσιμο προϋπολογισμό, έτσι ώστε όλες αυτές οι πολυπλοκότητες να οδηγήσουν στην κατανάλωση ενέργειας με την ευρεία υιοθέτηση συσκευών χρήστη που θα διαμορφώσουν το μέλλον του IoT.



Εικόνα 1. Σύγκριση μεταξύ 5G και 6G [4]

Από την άλλη πλευρά, λόγω της κινητικότητας των χρηστών, τα χρονικά μεταβαλλόμενα ασύρματα κανάλια αποτελούν σημαντική πρόκληση για μια αξιόπιστη ασύρματη επικοινωνία. Οι παραδοσιακές μέθοδοι για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είτε αντισταθμίζουν τη εξασθένιση του καναλιού με τη χρήση διαφορετικών σχημάτων διαμόρφωσης, κωδικοποίησης και διαμόρφωσης, είτε προσαρμόζονται σε αυτήν με τη χρήση τροποποιημένων μεθόδων διαχείρισης ισχύος, ρυθμού και διαμόρφωσης δέσμης [5]. Ωστόσο, απαιτούν επιπρόσθετο κόστος και έχουν περιορισμένη επιρροή στην ουσιαστικά τυχαία φύση των ασύρματων καναλιών, καθιστώντας το βασικό εμπόδιο για την εγκατάσταση ασύρματων επικοινωνιών υψηλής χωρητικότητας και αξιοπιστίας ανυπέρβλητο. Επιπλέον, οι μεταδόσεις σήματος υπόκεινται σε ανάκλαση, διάθλαση και σκέδαση πριν φτάσουν στον προορισμό, και η απρόβλεπτη φύση του ραδιοπεριβάλλοντος έχει ως αποτέλεσμα μια πλημμύρα από αυθαίρετα παραμορφωμένες και καθυστερημένες επιπλέον εκδοχές του κύματος πηγής κατά μήκος διαφόρων διαδρομών. Αυτές οι μεταβολές στην εξασθένιση του καναλιού αποτελούν θεμελιώδη περιοριστικό παράγοντα στη βελτιστοποίηση της απόδοσης των ασύρματων δικτύων EE και SE.

Οι υπάρχουσες σύγχρονες λύσεις φυσικών επιπέδων είναι ανεπαρκείς και η συνολική πρόοδος είναι ακόμη μέτρια, απαιτώντας νέες και ριζικές λύσεις φυσικού επιπέδου. Προσελκύεται η προσοχή σε νέα πρότυπα επικοινωνίας που εκμεταλλεύονται την ακραία επεξεργασία του περιβάλλοντος διάδοσης για να επιτύχουν τον στόχο της απλότητας των στοιχείων του πομποδέκτη και της ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Τα RIS προστέθηκαν πρόσφατα στις ασύρματες επικοινωνίες από ακαδημαϊκούς ερευνητές [6]. Τα RIS αποτελούν βασικό παράγοντα για την έννοια των έξυπνων ασύρματων περιβαλλόντων (SRE), καθιστώντας το ασύρματο περιβάλλον διαμορφώσιμο και προσαρμόσιμο.

Το RIS είναι μια φθηνή, προσαρμόσιμη επιφάνεια, όπως ένα έξυπνο, ελαφρύ σύνθετο στρώμα, το οποίο μπορεί να διαμορφώνει το εισερχόμενο ραδιοσήμα με διαμορφώσιμο και τροποποιήσιμο τρόπο χρησιμοποιώντας εξωτερικές εισόδους. Κατά συνέπεια, ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των RIS είναι η ευελιξία τους να αναδιαμορφώνονται μετά την ανάπτυξή τους σε ένα ασύρματο περιβάλλον. Το RIS είναι μια μεταεπιφάνεια, μια δισδιάστατη (2D) επιφάνεια ηλεκτρομαγνητικού (EM) υλικού που αποτελείται από πολλαπλές παθητικές μονάδες σκέδασης. Κάθε μονάδα της επιφάνειας μπορεί να τροποποιηθεί με τρόπο καθορισμένο από το λογισμικό ώστε να αλλάξουν οι HM ιδιότητες της ανάκλασης του εισερχόμενου σήματος στις μονάδες σκέδασης. Με την έντονη τοποθέτηση των RIS σε ασύρματα δίκτυα και την έξυπνη οργάνωση των αντανάκλασεών τους, τα σήματα διάδοσης σε ασύρματα κανάλια μεταξύ πηγών και προορισμών μπορούν να διαμορφωθούν ελεύθερα για να επιτευχθούν στοχευμένες υλοποιήσεις και διανομές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την εισαγωγή ενός καλύτερου τρόπου ουσιαστικής αντιμετώπισης της ανεπάρκειας του καναλιού εξασθένισης, του προβλήματος των παρεμβολών και δυνητικά δίνει μια πρακτική λύση.

Τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα με τη βοήθεια του RIS προκάλεσαν πρόσφατα ουσιαστική έρευνα. Στη βιβλιογραφία μας, μερικές δημοσιεύσεις έχουν παράσχει μια επισκόπηση της έρευνας για το RIS και τις παραλλαγές του από διάφορες οπτικές γωνίες. Ρεαλιστικές προσομοιώσεις και δοκιμές έχουν δείξει τη δυνατότητα του περιβάλλοντος ενός έξυπνου ασύρματου συνδέσμου να αυξάνει την απόδοση μετάδοσης σε διάφορα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιώντας τη δυνατότητα συντονισμού του RIS. Ο συγγραφέας στο [7] περιέγραψε τον ενεργό τοίχο και πώς

λειτουργεί με το χειρισμό του ασύρματου περιβάλλοντος μέσω μιας ενεργής επιφάνειας επιλογής συχνότητας (FSS). Ο κύριος στόχος του ευφυούς τοίχου είναι να ενεργοποιήσει και να απενεργοποιήσει δυναμικά το ενεργό FSS για να τροποποιήσει τις ιδιότητές του EM, το οποίο επηρεάζει το περιβάλλον διάδοσης και ως εκ τούτου την απόδοση του συστήματος. Το πιο ενδιαφέρον είναι ότι στο [8] οι συγγραφείς απέδειξαν τα πλεονεκτήματα της εγκατάστασης συσκευών χαμηλού κόστους στους τοίχους ενός κτιρίου για τη μετάδοση και την ανάκλαση των ασύρματων κυμάτων ενεργά και παθητικά, αντίστοιχα. Η βιβλιογραφία στο [9] παρουσιάζει νέες τεχνικές για τον έλεγχο της συμπεριφοράς προβλέψιμων και προγραμματιζόμενων ασύρματων περιβαλλόντων. Το πιο σημαντικό στοιχείο είναι το πλακίδιο υπερεπιφάνειας, μια νέα κατηγορία επίπεδων μεταλλικών που μπορούν να συγκρατήσουν την εισερχόμενη ΗΜ ακτινοβολία με διαχειρίσιμο τρόπο όπου τα ΗΜ κύματα μπορούν να επανασχεδιαστούν με ποικίλους τρόπους χρησιμοποιώντας πλακίδια επιφάνειας, συμπεριλαμβανομένης της ολικής απορρόφησης και της χειραγώγησης της πόλωσης. Πολλαπλά πλακίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη εσωτερικών και εξωτερικών αντικειμένων, όπως οι προσόψεις κτιρίων. Για την καλύτερη ικανοποίηση των απαιτήσεων των συσκευών επικοινωνίας, εξωτερικές υπηρεσίες λογισμικού καθορίζουν και παρέχουν τον ιδανικό τύπο αλληλεπίδρασης για κάθε πλακίδιο. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων των νέων εννοιών. Οι ερευνητές στο [10] υλοποίησαν και αξιολόγησαν διάφορες λύσεις δομικών στοιχείων φυσικού επιπέδου για διαμορφώσιμα ασύρματα δίκτυα και πρότειναν τη μέθοδο KPCONFIG. Πρόκειται για έναν νέο τρόπο διαμόρφωσης ενός προγραμματιζόμενου ασύρματου περιβάλλοντος (PWE) που επιτρέπει την υποστήριξη πολλαπλών χρηστών και την ευέλικτη αναπαράσταση πολιτικών διαμοιρασμού πόρων και στόχων επικοινωνίας των χρηστών. Επιπλέον, ένα προσιτό μοντέλο που βασίζεται σε γνωστές αρχές αντίχενωσης ακτινών, χρησιμοποιείται για να εξηγήσει τη φυσική που διέπει τις μοναδικές ικανότητες χειρισμού ακτινών των υπερεπιφανειών. Τα εισερχόμενα κύματα ραδιοσυχνότητας (RF) μπορούν να διαμορφωθούν με μια επιθυμητή απόκριση, προσαρμόζοντας την κατανομή του ρεύματος στην υπερεπιφάνεια, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός αναδιαμορφώσιμου ραδιοπεριβάλλοντος. Ένα προγραμματιζόμενο ραδιοπεριβάλλον μπορεί να βελτιώσει την απόδοση μετάδοσης όσον αφορά την ισχύ του σήματος, την εμβέλεια μετάδοσης, την απόδοση EE και SE μειώνοντας την απώλεια σήματος, την εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών και την παρεμβολή μεταξύ των καναλιών. Αντί να χρησιμοποιούν

υπερεπιφάνειες, οι συγγραφείς στο [11] πρότειναν το Scatter-MIMO χρησιμοποιώντας έξυπνες επιφάνειες για να μεγιστοποιήσουν τη διασπορά στο περιβάλλον και να παρέχουν κέρδη χωρικής πολυπλεξίας MIMO.

Τα ασύρματα δίκτυα με δυνατότητα RIS αναμένεται να αλλάξουν το σημερινό παράδειγμα βελτιστοποίησης δικτύων με την ενσωμάτωση των ευφών ασύρματων περιβαλλόντων στις εκτιμήσεις βελτιστοποίησης δικτύων και προβλέπεται να διαδραματίσουν ενεργό ρόλο στα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα [16] και στα ασύρματα περιβάλλοντα με δυνατότητα RIS. Υπάρχουν αρκετές πρόσφατες εργασίες που έχουν μελετήσει τα RIS [3,13] και δεν θα ήταν κατάλληλη εργασία να επαναλάβουμε αυτές τις ανασκοπήσεις, αλλά σε σύγκριση με τις προηγούμενες δημοσιεύσεις, η εργασία μας παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των θεωρητικών θεμελίων των RIS και μια επικαιροποιημένη αξιολόγηση της σύγχρονης χρήσης τους στα ασύρματα δίκτυα. Επίσης, έχουμε παράσχει μια αξιολόγηση της τρέχουσας χρήσης των RIS στα ασύρματα δίκτυα. Οι κύριες συνεισφορές μας επισημαίνονται παρακάτω:

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, έχουμε εξετάσει εκτενώς τα πρόσφατα έργα RIS για να παράσχουμε μια βαθύτερη κατανόηση της τεχνολογίας RIS, συμπεριλαμβανομένων ερευνητικών τομέων που δεν καλύπτονται σε προηγούμενες ανασκοπήσεις, ξεκινώντας από την αρχιτεκτονική των RIS, τους μηχανισμούς ελέγχου, τους τύπους σχεδιασμού και συντονισμού, τα κυκλώματα, τη γεωμετρία και τους μηχανισμούς υλικού. Παρουσιάζονται οι μέθοδοι συντονισμού για τις διάφορες δημοσιεύσεις στη βιβλιογραφία, κατηγοριοποιημένες ανάλογα με τον όγκο της έρευνας σύμφωνα με το Σχήμα 5 και αναφερόμενες στις διάφορες εργασίες στον Πίνακα 2, εκτός από το μοντέλο εξασθένισης συσχέτισης του καναλιού και τα πρακτικά μοντέλα απώλειας διαδρομής που χαρακτηρίζουν τα μοντέλα σήματος και καναλιού στην επικοινωνία με τη βοήθεια RIS. Η επόμενη ενότητα επικεντρώνεται στην ανάλυση επιδόσεων και στις τεχνικές βελτιστοποίησης, κατηγοριοποιώντας τις εργασίες με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με τους στόχους σχεδιασμού, τις δυνατότητες των RIS και το ρυθμό μετατροπής και τη βελτιστοποίηση των αλγορίθμων που υλοποιούνται. Για παράδειγμα, οι περισσότεροι συγγραφείς βασίζονται σε εξελιγμένες τεχνικές και αλγοριθμικές μεθόδους εναλλακτικής βελτιστοποίησης (AO) για τη μεγιστοποίηση των ρυθμών δεδομένων. Κατά συνέπεια, η ανάγκη για χαμηλά πολύπλοκες τεχνικές και

αλγόριθμους λιγότερο διαρκούς χρόνου καθίσταται ζωτικής σημασίας για την από κοινού βελτιστοποίηση των παθητικών και ενεργών μεταδόσεων.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια μέθοδος εκτίμησης καναλιού που περιγράφει πρωτόκολλα εκτίμησης και πιλοτικές μεταδόσεις που δεν αναφέρονται ρητά σε άλλες ερευνητικές εργασίες. Συμπερασματικά, οι πιο προηγμένες πιλοτικές μεταδόσεις για την υποστήριξη των συστημάτων RIS χρειάζονται ακόμη περαιτέρω διερεύνηση και έρευνα στη βιβλιογραφία. Δεδομένου ότι δεν είναι ρεαλιστικό να υποθέσουμε ότι οι πληροφορίες κατάστασης καναλιού (CSI) είναι διαθέσιμες στον πομπό και στον δέκτη, απαιτείται εκ των προτέρων εκτίμηση καναλιού στον δέκτη. Επιπλέον, συζητήθηκαν διαφορετικές μέθοδοι ανάπτυξης RIS για να διασφαλιστεί ότι αυτές οι παθητικές επιφάνειες RIS αναπτύσσονται με διαφορετικό τρόπο από τα ενεργά δίκτυα που περιέχουν ενεργούς κόμβους και ρελέ.

Στη βιβλιογραφία, οι παραδοχές χωρίς απώλειες πλάτους και συνεχούς φάσης δίνουν πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα ανάλυσης και προσομοίωσης. Ωστόσο, οι απώλειες ενέργειας είναι αναπόφευκτες στο πραγματικό υλικό και τα πρακτικά μοντέλα μετατόπισης φάσης πρέπει να λαμβάνουν υπόψη αυτές τις απώλειες.

Η παρούσα εργασία ανασκόπησης επικεντρώνεται στις ελλείψεις και στα υπερβολικά αισιόδοξα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, πολλές μελέτες λαμβάνουν υπόψη ορισμένες παραδοχές του συστήματος και παραλείπουν ή αγνοούν άλλες παραμέτρους που είναι απαραίτητες για τα πρακτικά ασύρματα συστήματα. Συνεπώς, η αμοιβαία σύζευξη, τα χρονικά μεταβαλλόμενα κανάλια, η μετατόπιση Doppler και η κινητικότητα, τα διακριτά μοντέλα μετατόπισης φάσης και οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές εξακολουθούν να απαιτούν εκτενέστερες προσπάθειες και μελλοντική διερεύνηση για τη βελτίωση της ποιότητας της έρευνας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Σύγκριση με άλλες έρευνες/εκπαιδευτικές έρευνες

Αναφορά	Περιγραφή	Σύγκριση με τη δουλειά μας
[12]	Ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για τις αρχές λειτουργίας του RIS, την αξιολόγηση της απόδοσης, το	Διαφορετικά από άλλες έρευνες και επισκοπήσεις, η εργασία μας παρουσιάζει απαιτητικές και

Αναφορά	Περιγραφή	Σύγκριση με τη δουλειά μας
[3]	<p>σχεδιασμό διαμόρφωσης δέσμης και τη διαχείριση πόρων, καθώς και την ενοποίηση των RIS με άλλες αναπτυσσόμενες τεχνολογίες</p> <p>Επιδιώκει να δώσει μια εις βάθος τεχνική εξήγηση για να βοηθήσει και να εμπνεύσει μελλοντική έρευνα στη μοντελοποίηση, ανάλυση, σχεδιασμό, βελτιστοποίηση και υλοποίηση ασύρματων δικτύων με τη βοήθεια RIS.</p>	<p>κρίσιμες τεχνικές πτυχές αναδιαμορφώσιμων έξυπνων επιφανειών, συμπεριλαμβανομένης της φυσικής λειτουργικής αρχής και του μοντέλου καναλιού. Στη συνέχεια αξιολογεί τις μετρήσεις απόδοσης και τις τεχνικές βελτιστοποίησης στη βιβλιογραφία λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς, τις ελλείψεις και τις μη πρακτικές υποθέσεις που οδηγούν σε υπεραισιόδοξα αποτελέσματα. Η πιλοτική μετάδοση, η εκτίμηση καναλιών και οι διαφορετικές μέθοδοι ανάπτυξης για το RIS είναι όλα θέματα που εξακολουθούν να χρειάζονται περισσότερες έρευνες από όσο γνωρίζουμε. Στο τέλος κάθε ενότητας δίνεται μια προοπτική για τα διδάγματα και η περίληψη.</p>
[13]	<p>Επικεντρώνεται στις εφαρμογές του RIS στις ασύρματες επικοινωνίες και εξετάζει διάφορες μετρήσεις απόδοσης και αναλυτικές μεθοδολογίες.</p>	<p>και οι διαφορετικές μέθοδοι ανάπτυξης για το RIS είναι όλα θέματα που εξακολουθούν να χρειάζονται περισσότερες έρευνες από όσο γνωρίζουμε. Στο τέλος κάθε ενότητας δίνεται μια προοπτική για τα διδάγματα και η περίληψη.</p>
[14]	<p>Παρέχει μια επισκόπηση των τεχνικών και κρίσιμων χαρακτηριστικών της μαθηματικής βελτιστοποίησης και ανάλυσης απόδοσης των συστημάτων LIS, καθώς και μερικές πιθανές ερευνητικές διαδρομές για τη διαμόρφωση πραγματικών προκλήσεων πέρα από τα συστήματα 5G στο μέλλον.</p>	<p>προοπτική για τα διδάγματα και η περίληψη.</p>

Αναφορά	Περιγραφή	Σύγκριση με τη δουλειά μας
[15]	Περιγράφει αξιολογήσεις χωρητικότητας/ρυθμού δεδομένων, βελτιστοποιήσεις ισχύος/φασματικής ισχύος, πρόβλεψη καναλιών, σχεδιασμό βασισμένη σε βαθιά μάθηση και ανάλυση αξιοπιστίας.	

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Κατάλογος δημοσιεύσεων που σχετίζονται με το RIS από την οπτική γωνία του έξυπνου ραδιοφωνικού περιβάλλοντος (SRE).

Αναφορά	Αρχιτεκτονική επιφάνειας	Ελεγκτικός μηχανισμός	Εγκατάσταση συστήματος	Κατόρθωμα
[7]	Επιφάνειες επιλογής ενεργής συχνότητας (FSS) με διόδους PIN που συνδέουν μεταλλικά μέρη του FSS	Δίοδοι PIN ON-OFF	Σύστημα ευρείας ζώνης εσωτερικού χώρου OFDMA για πολλούς χρήστες	Επιφάνειες που αντανακλώνται πλήρως με σωστή κάλυψη και μπορούν να ενισχύσουν την απόδοση του συστήματος έως και 80%
[8]	Προγραμματιζόμενο ραδιοφωνικό περιβάλλον για έξυπνους χώρους (PRESS)	Πρωτότυπα στοιχεία PRESS εξοπλισμένα με (SP4T) διακόπτες RF αλλάζουν	Σύστημα ευρείας ζώνης πολλαπλών πελατών	Ανακλά παθητικά ή εκπέμπει ενεργά ραδιοκύματα και έτσι μειώνει ή βελτιώνει την ισχύ του σήματος έως και 26 dB, για να

Στοιχεία κεραίας χαμηλού κόστους που συνδέονται με παθητικά φορτία και είναι ενσωματωμέ να στους τοίχους ενός κτιρίου	φάση κάθε κεραίας κατά 1/2	διαμορφώνει εκ νέου τη διάδοση πολλαπλών διαδρομών
--	----------------------------------	---

- [9] Πλακίδιο
υπερεπιφάνει
ας
εξοπλισμένο
με φυσικά
στοιχεία
διακόπτη
- Στοιχείο
διακόπτη
Ελεγχόμενη
κατάσταση
(ON/OFF)
- 12 δέκτες,
τόσο στις
ζώνες
συχνοτήτων
μικροκυμάτω
ν όσο και σε
mmWave,
είναι
ομοιόμορφα
κατανεμημέν
οι στον
εσωτερικό
χώρο και
αξιολογούν
χρησιμοποιώ
ντας έναν
ιχνηλάτη
ακτινών που
βασίζεται σε
- Επανασχεδιασμός
κυμάτων HM,
συμπεριλαμβανομέ
νης της διεύθυνσης
προς οποιαδήποτε
κατεύθυνση, της
πλήρους
απορρόφησης, της
τροποποίησης
πόλωσης και
άλλων
τεχνικών. Με
μέγιστη και
ελάχιστη ισχύ
λήψης 32,5 dBm
και 12,4 dBm,
αντίστοιχα, και
μέση ισχύ λήψης
20,6 dBm, τα
αποτελέσματα

			χάρτη	δείχνουν καλή κάλυψη.
[25]	Χωρικοί διαμορφωτές μικροκυμάτων ν (SMM) εξοπλισμένοι με 102 ελεγχόμενους ανακλαστήρες ΗΜ	Δύο καταστάσεις συντονισμένων στοιχείων (ο ανακλαστήρας και η παρασιτική ταινία), κατάσταση π και κατάσταση 0	Δύο πηγές κεραιών και δέκτης συνδεδεμένοι στον αναλυτή δικτύου βρίσκονται σε ένα δωμάτιο που ο χωρικός διαμορφωτής μικροκυμάτων ν μπορεί να τοποθετηθεί στους τοίχους του δωματίου	Αύξηση ή ακύρωση του πλάτους ασύρματης μετάδοσης μεταξύ δύο κεραιών (Διαμόρφωση σύνθετου πεδίου μικροκυμάτων). Το SMM μπορεί να εκτελέσει διαμόρφωση μετώπου κύματος και απόκρυψη του πεδίου γύρω από μία κεραία σε ευρεία περιοχή μήκους συσχέτισης (6 cm στα 2,4 GHz)
[26]	Πάνελ συστοιχίας ανακλαστικών με συνολικά 48 μονάδες ανακλαστήρα και τα περιφερειακά	Κάθε ανακλαστήρας ελέγχεται από μια τάση μεροληψίας για να συντονίσει τους varactors (0,6 – 8pF) για	Δύο ζεύγη ασύρματων χρηστών σε μια αίθουσα συνεδριάσεων όπου η έξυπνη συστοιχία αντανακλά	Έλεγχος της μετατόπισης φάσης κάθε στοιχείου συστοιχίας ανάκλασης. Οι παρεμβολές έχουν εξαλειφθεί και ο λόγος παρεμβολών και θορύβου

	κυκλώματα και τους βαράκτες του	την αλλαγή της χωρητικότητας και επομένως της φάσης κάθε μονάδας	κρεμασμένη στους τοίχους	(SINR) έχει ενισχυθεί σε περίπου 30 dB, σύμφωνα με τα επιτευχθέντα αποτελέσματα
[27]	Έξυπνη συστοιχία κεραιών λήψης	Οι δυνατότητες μεταφοράς πληροφοριών μιας έξυπνης επιφάνειας για κάθε επιφάνεια M2 που αναπτύσσεται	Σύστημα στενής ζώνης πολλαπλών χρηστών με ιδανική διάδοση ελεύθερου χώρου	Ενεργή επιφάνεια μετάδοσης και λήψης. Κατά συνέπεια, το όριο της χωρητικότητας ενισχύεται όταν το μήκος κύματος πλησιάζει το μηδέν
[28]	Πλακίδιο υπερεπιφάνειας με ελεγκτές που ρυθμίζουν τα εξαρτήματα διακόπτη της μεταεπιφάνειας	Τα δυναμικά άτομα(atoms) περιλαμβάνουν εξαρτήματα μεταγωγής φάσης όπως MEMS, τρανζίστορ CMOS ή ρευστούς διακόπτες που μπορούν να αλλάξουν τη δομή του μετα-ατόμου	Διατάξεις κυμάτων mm που περιλαμβάνουν ένα ζεύγος Rx-Tx που βρίσκεται σε μη οπτική επαφή (NLOS) πάνω από μια καθορισμένη κάτοψη και τοίχους καλυμμένους με	Τα νέα χαρακτηριστικά ασφαλείας φυσικού επιπέδου μπορούν να βοηθήσουν στην αποφυγή υποκλοπών. Ο μετριασμός της απώλειας διαδρομής και της εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών, καθώς και η ασφάλεια υποκλοπής, αποδείχθηκαν στις

			υπερεπιφάνει α	διαμορφώσεις 2,4 και 60 GHz
[29]	Πλασμονικά στοιχεία κεραίας σε κάθε πλευρά πομποδέκτη	Νέες έξυπνες πλασμονικές συστοιχίες κεραιών που μπορούν να λειτουργήσουν στη μετάδοση, λήψη, ανάκλαση και καθοδήγηση κύματος, οι ζώνες mm- wave και THz	Ultra- Massive MIMO (UM MIMO)	Στις ζώνες mm- wave και THz, έχουν αναπτυχθεί νέες ευφυείς πλασμονικές συστοιχίες κεραιών ικανές για επικοινωνίες και καθοδήγηση κύματος. Τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική αύξηση της απόστασης μετάδοσης και του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων
[30]	Οπτικά συστήματα ελεύθερου χώρου (FSO) με υποβοήθηση RIS	Συγκρίσιμη τεχνολογία υποβοήθησης καθρέφτη, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθε ί για τη δημιουργία ενός προφίλ μετατόπισης φάσης που	Ένα σύστημα επικοινωνίας FSO αποτελείται από ένα Tx με πηγή λείζερ εκπομπής δέσμης Gauss (LS), IRS και Rx με φακό και ανιχνευτή	Τα συστήματα FSO με τη βοήθεια του IRS μπορούν να αντισταθμίσουν την ανάγκη για οπτική επαφή (LoS) μεταξύ Tx και Rx. Η επίδραση στο κανάλι από άκρο σε άκρο ποικίλλει ανάλογα με το πού

		εκτείνεται στο IRS	φωτογραφιών (PD)	βρίσκονται τα TX, RIS και RX σε σχέση μεταξύ τους
[31]	102 δυαδικά στοιχεία φάσης αποτελούν τη μεταεπιφάνει α	Η μετατόπιση φάσης του ανακλώμενου κύματος μπορεί να ελέγχεται ηλεκτρικά για κάθε στοιχείο χρησιμοποιώντ ας μια τάση μεροληψίας διόδου PIN από έναν μικροελεγκτή Arduino να είναι είτε 0 είτε π	Η μεταφορά μιας έγχρωμης εικόνας RGB σε ένα σύστημα 3-3 MIMO προσομοιώθη κε χρησιμοποιώ ντας ασύρματη μετάδοση εικόνας σε ένα δωμάτιο γραφείου	Το πλεονέκτημα της διαμόρφωσης ασύρματων καναλιών. Η φυσική διαμόρφωση των μέσων διάδοσης με απλές μεταεπιφάνειες μπορεί να επιτύχει πλήρη ορθογωνικότητα των ασύρματων καναλιών και εξαιρετική ποικιλία καναλιών και χαμηλή συνομιλία
[32]	RIS με 16 στοιχεία	Μια μέθοδος κωδικοποίησης πληροφοριών τόσο στο απεσταλμένο σήμα όσο και στη διαμόρφωση RIS	SIMO πάνω από ένα ημιστατικό κανάλι εξασθένισης	Για την ενίσχυση της χωρητικότητας, χρησιμοποιείται μια μέθοδος που κωδικοποιεί δεδομένα στο απεσταλμένο σήμα καθώς και στη διαμόρφωση RIS. Τρεις φορές ταχύτερη από την

				κωδικοποίηση max-SNR είναι η κοινή κωδικοποίηση.
[33]	RIS με μεγάλα ανακλαστικά στοιχεία	Η καλύτερη διαμόρφωση μετατόπισης φάσης RIS	Πολλαπλές κεραίες στον πομπό και τον δέκτη σε ένα σύστημα που βασίζεται σε σημείο σε σημείο RIS	Ανάπτυξη ενός πλασίου κατανομής πόρων με επίγνωση γενικών εξόδων όπου το RIS χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της απόδοσης SE/EE του συστήματος
[34]	Προγραμματι ζόμενες επιφάνειες κυψελών 256 μονάδων βασισμένες σε διόδους varactor	Ένας μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό παράγει ένα εξωτερικό σήμα ελέγχου που ελέγχει την απόκριση φάσης της κυψέλης μονάδας	Ασύρματο σύστημα MIMO με υποβοήθηση RIS	Το προτεινόμενο πρωτότυπο υλοποιεί ασύρματη επικοινωνία MIMO-QAM βάσει RIS σε πραγματικό χρόνο με λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και επιτεύξιμο ρυθμό δεδομένων 20 Mbps

Ο Πίνακας 1 απεικονίζει τη σύγκριση αυτής της εργασίας με τα υπάρχοντα περιοδικά/ερευνητικά/εκπαιδευτικά προγράμματα στο πλαίσιο του RIS. Σε σύγκριση με άλλες μελέτες, γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν σημαντικά κενά που δεν αντιμετωπίζονται επαρκώς στη βιβλιογραφία. Διερευνώνται περαιτέρω οι μηχανισμοί συνεργασίας ώστε να αντικατοπτρίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των RIS από την άποψη της επικοινωνίας. Είναι σημαντικό να διερευνηθεί περαιτέρω η ενσωμάτωση των RIS με την επικοινωνία οπισθοσκέδασης για την περαιτέρω αξιοποίηση των συστημάτων κατανάλωσης ενέργειας και των τεχνολογιών IoT για τη μείωση της ισχύος. Επιπλέον, νέες προσθήκες όπως η πιλοτική μετάδοση και η εκτίμηση καναλιού για ευρυζωνική επικοινωνία είναι απαραίτητες για τη διερεύνηση εξελιγμένων μοντέλων επικοινωνίας που αξιοποιούν τις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες ώστε να ταιριάζουν σε ρεαλιστικές εφαρμογές ασύρματης επικοινωνίας.

Το υπόλοιπο της παρούσας εργασίας είναι οργανωμένο όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Το υλικό και η λειτουργικότητα των RIS, συμπεριλαμβανομένων των μοντέλων σήματος και καναλιού, του σχεδιασμού υλικού και των μηχανισμών ελέγχου, περιγράφονται στην ενότητα 2. Η ενότητα 3 περιγράφει την ανάλυση επιδόσεων και τη βελτιστοποίηση του ραδιοσυστήματος που υποστηρίζει τις RIS. Η ενότητα 4 εξετάζει τις υποσχόμενες προσεγγίσεις για την εκτίμηση καναλιού και τις εφαρμόζει σε διάφορες τοπολογίες και διαμορφώσεις επικοινωνίας. Στην ενότητα 5 εξετάζονται μέθοδοι για την ανάπτυξη ενός RIS τόσο σε επίπεδο ζεύξης όσο και σε επίπεδο δικτύου. Στην ενότητα 6 προτείνονται μελλοντικές προκλήσεις και ερευνητικές κατευθύνσεις. Τέλος, η ενότητα 7 ολοκληρώνει την παρούσα ερευνητική εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ RIS

Στην παρούσα ενότητα περιγράφονται τα βασικά στοιχεία της ασύρματης επικοινωνίας με δυνατότητα της αναδιαμορφώσιμης ευφυής επιφάνειας, συμπεριλαμβανομένης της κύριας αρχιτεκτονικής RIS, του υλικού και των μηχανισμών ελέγχου, καθώς και των μοντέλων σηματοδότησης και καναλιών που παρουσιάζονται στην υπάρχουσα βιβλιογραφία.

Ο νόμος του Snell και η εξίσωση Fresnel ελέγχουν την ένταση και την κατεύθυνση των ανακλώμενων και διαθλώμενων κυμάτων [17]. Η κατάσταση αλλάζει όταν τα κύματα συγκρούονται με μεταεπιφάνειες. Η περιοδική διάταξη των συνιστωσών σκέδασης οδήγησε μετατόπιση της συχνότητας συντονισμού με αποτέλεσμα οι οριακές συνθήκες αλλάζουν. Έτσι, εμφανίζονται περαιτέρω μετατοπίσεις φάσης λόγω ανακλώμενων και διαθλώμενων κυμάτων. Οι ΗΜ ιδιότητες μιας μεταεπιφάνειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συγκεκριμένο σκοπό, όπως για παράδειγμα σαν ένας ιδανικός απορροφητής που λειτουργεί σε συγκεκριμένη συχνότητα, επειδή η μεταεπιφάνεια καθορίζεται μόλις παραχθεί με συγκεκριμένη φυσική δομή RIS είναι προγραμματιζόμενη και επιτρέπει την πλήρη ρύθμιση της μετατόπισης φάσης που υφίστανται τα επιμέρους στοιχεία σκέδασης. Αποτελείται από μια μεταεπιφάνεια που επιτρέπει την πλήρη ρύθμιση της μετατόπισης φάσης που υφίστανται τα επιμέρους στοιχεία σκέδασης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή εξωτερικών ερεθισμάτων στα στοιχεία σκέδασης για να αλλάξουν οι φυσικές τους ιδιότητες, οι οποίες με τη σειρά τους αλλάζουν τη μεταεπιφάνεια[18].

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ένας τυπικός σχεδιασμός RIS με τρία στρώματα και έναν ευφυή ελεγκτή. Το πρώτο στρώμα (στρώμα RIS) αποτελείται από ένα διηλεκτρικό υπόστρωμα στο οποίο τοποθετείται μια σειρά από συντονισμένα και αναδιαμορφώσιμα μεταλλικά μπαλώματα για την άμεση ρύθμιση των προσπιπτόντων κυμάτων για να αποφευχθεί η απώλεια ισχύος μετάδοσης λόγω της ανάκλασης RIS, στο δεύτερο στρώμα χρησιμοποιείται συνήθως ένα χάλκινο υλικό. Το τρίτο στρώμα είναι μια ολοκληρωμένη πλακέτα ελέγχου, η οποία είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο τόσο του πλάτους διέγερσης και ανάκλασης όσο και της μετατόπισης φάσης των ανακλαστικών στοιχείων. Επιπλέον, ένας έξυπνος ελεγκτής που συνδέεται με κάθε RIS ενεργοποιεί και καθορίζει τη ρύθμιση της ανάκλασης, η οποία μπορεί να γίνει σε μια διάταξη προγραμματιζόμενων πυλών πεδίου (FPGA). Ο ελεγκτής RIS ενεργεί ως πύλη

που επιτρέπει τη διασύνδεση άλλων στοιχείων δικτύου, όπως οι σταθμοί βάσης (BS) και τα τερματικά χρηστών, μέσω ενσύρματων ή ασύρματων γραμμών οπισθοδρόμησης και ελέγχου. Στην πράξη, οι αποκλειστικοί αισθητήρες μπορούν να αναπτυχθούν στο πρώτο επίπεδο, για παράδειγμα, να συνδυαστούν με τα ανακλαστικά στοιχεία του RIS, για να ανιχνεύσουν τα γύρω ραδιοσήματα ενδιαφέροντος και να βοηθήσουν τον έξυπνο ελεγκτή να σχεδιάσει τους συντελεστές ανάκλασης, για να ενισχύσει την ικανότητα περιβαλλοντικής εκμάθησης του RIS [3]. Οι διάφορες διαδικασίες συντονισμού που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία μπορούν να χωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

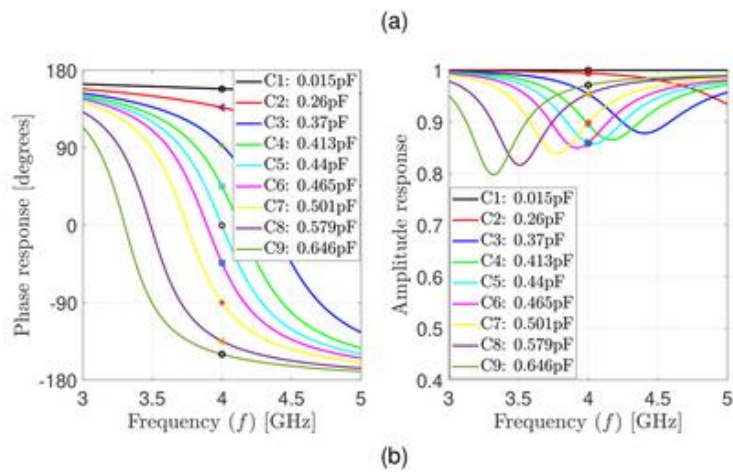
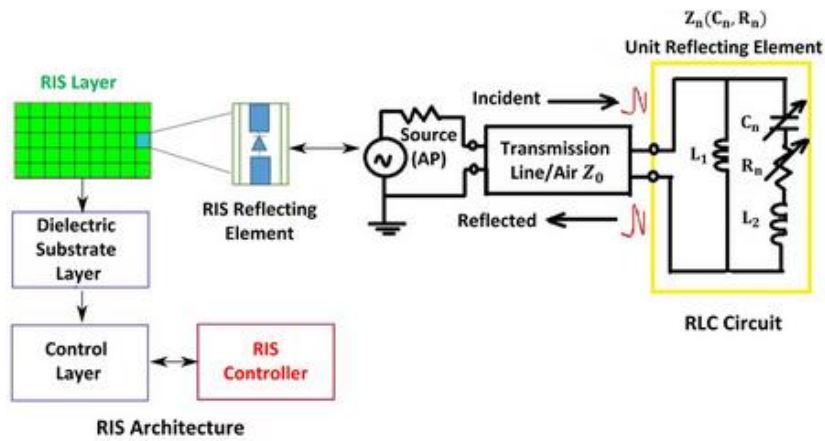
1. Ο συντονισμός κυκλώματος περιλαμβάνει την ενσωμάτωση ή την τροποποίηση μεμονωμένης σύνθετης αντίστασης στο μοντέλο κυκλώματος κυψέλης μονάδας χρησιμοποιώντας μεταβλητούς πυκνωτές και διακόπτες μέσα και μεταξύ των κυψελών μονάδας.
2. Ο γεωμετρικός συντονισμός είναι μια τεχνική που αλλάζει φυσικά τη γεωμετρία μιας κυψέλης μονάδας και μεταβάλλει δραματικά το συνοδευτικό μοντέλο του κυκλώματος.
3. Ο συντονισμός υλικού είναι η διαδικασία τροποποίησης των ιδιοτήτων του υλικού ενός υποστρώματος ή ενός μικρού τμήματος μιας μονάδας κυψέλης για αλλαγή της ανταπόκρισης και των χαρακτηριστικών του στρώματος υποστρώματος ή του μικρού εξαρτήματος του στοιχείου μονάδας. πύλης πεδίου (FPGA).

2.1. Συντονισμός κυκλώματος

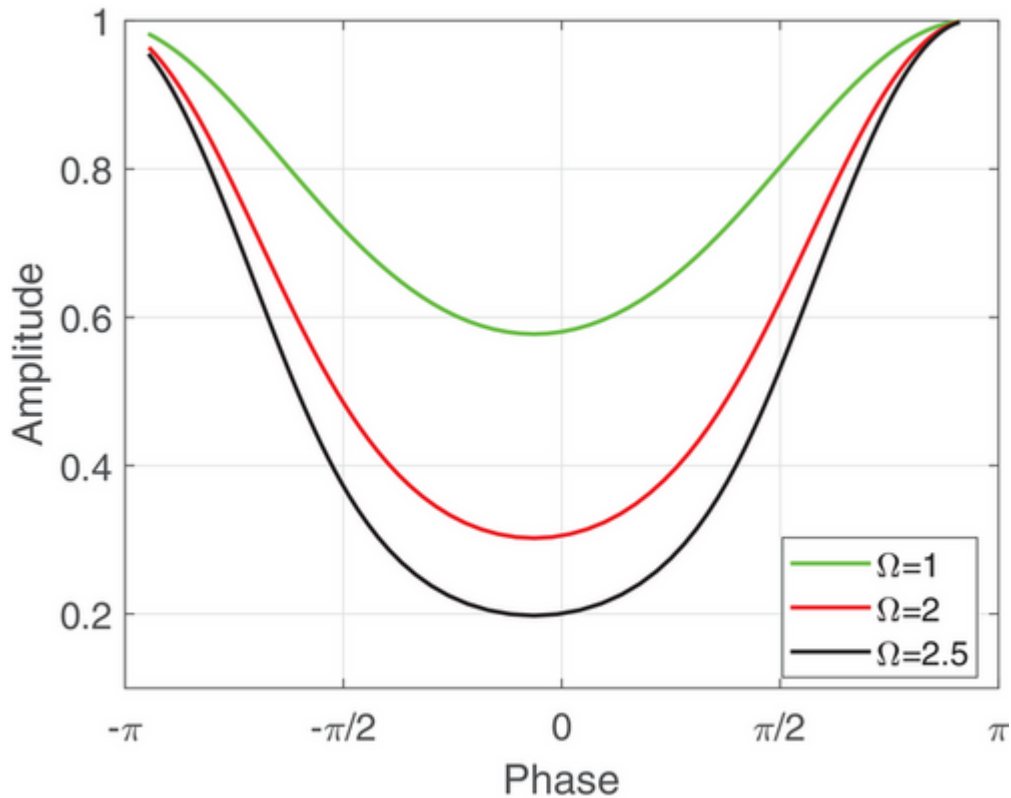
Η ηλεκτρομαγνητική συμπεριφορά των πραγματικών παθητικών γραμμών μεταφοράς, των κεραίων και των μεταλλικών μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ισοδύναμα κυκλώματα με επαγωγικές, χωρητικές και αντιστατικές ομάδες. Αυτή η μέθοδος αποσύνθεσης πολύπλοκων γεωμετριών σε γνωστά μοντέλα κυκλωμάτων είναι πολύ αποτελεσματική στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς των ενημερωμένων σχεδίων. Ο συντονισμός κυκλώματος μεταλλικού περιγράφεται ως μέθοδος εισαγωγής, τροποποίησης και ελέγχου συγκεκριμένων στοιχείων στο ισοδύναμο κύκλωμα του μεταλλικού. Λόγω της ευκολίας συνδυασμού τους σε μια ποικιλία μεταλλικών, οι δίοδοι varactor είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος συντονισμού [19]. Η ενσωμάτωση ενός varactor σε

ένα σχέδιο μεταϋλικού αναφέρεται συχνά ως ενεργό μεταϋλικό παρά το γεγονός ότι η συσκευή παραμένει ανενεργή για RF και είναι ενεργή μόνο στην επιθυμία της για προκατάληψη DC [20].

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι varactors έχουν θεωρηθεί με ακρίβεια ως τέλειοι ή σχεδόν τέλειοι γραμμικοί πυκνωτές, αλλά πολυάριθμες μελέτες έχουν εξετάσει πτυχές της μη γραμμικότητας σε διάφορα επίπεδα ισχύος [21]. Η χρήση των διόδων PIN [22] στα μεταϋλικά είναι συγκρίσιμη με τη χρήση varactors όσον αφορά την δυνατότητα εφαρμογής και την απλότητα της ενσωμάτωσης, αλλά αυτοί οι ενεργοποιητές επηρεάζουν την αντίσταση και όχι τη χωρητικότητα. Στην πράξη, για καλό ανακλαστικό σχεδιασμό, είναι επιθυμητός ο ανεξάρτητος έλεγχος του πλάτους και της μετατόπισης φάσης κάθε στοιχείου RIS, αλλά αυτό απαιτεί πολύπλοκα αρχιτεκτονικά σχήματα και στοιχεία σχεδιασμού [23], όπως περιεγράφηκε παραπάνω για τον ανεξάρτητο έλεγχο και μόνο. Η συνεχής ρύθμιση των συντελεστών ανάκλασης είναι επωφελής για τη βελτίωση της απόδοσης της επικοινωνίας, αλλά είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη, καθώς τα στοιχεία ανάκλασης υψηλότερης ποιότητας δεν είναι μόνο ακριβότερα αλλά απαιτούν και πιο σύνθετες αρχιτεκτονικές υλικού. Για παράδειγμα, απαιτούνται τουλάχιστον 10 PIN διόδοι για να είναι δυνατή η μετατόπιση φάσης σε οκτώ επίπεδα ανά μονάδα RIS με κατάλληλη ποσοτικοποίηση των διαστημάτων $[0,1]$ και $[0,2\pi]$, μπορούν να υπολογιστούν διακριτές τιμές πλάτους και μετατόπισης φάσης αντίστοιχα. Παρόλο που ο έλεγχος μετατόπισης φάσης και η διαμόρφωση φάσης μπορούν να επιτύχουν καλύτερη απόδοση παθητικής διαμόρφωσης δέσμης από τον έλεγχο πλάτους και τη διαμόρφωση πλάτους, ο έλεγχος μετατόπισης φάσης και η διαμόρφωση φάσης σε RIS είναι πιο δαπανηρές για την παραγωγή, εάν ο αριθμός των bit ελέγχου και των διακριτών επιφανειών για κάθε ανακλαστήρα είναι ο ίδιος, σύμφωνα με τους συγγραφείς στο [24]. Οι αναλυτές στο [25] πρότειναν ένα πρακτικό μοντέλο ανάκλασης προσομοιώνοντας κάθε ανακλαστικό στοιχείο ως κύκλωμα συντονισμού με συγκεκριμένες τιμές επαγωγής, χωρητικότητας και αντίστασης, αλλά διαπιστώθηκε ότι, ανάλογα με το πρωτότυπο, η απόκριση πλάτους και η μετατόπιση φάσης των ανακλαστικών στοιχείων έχουν γενικά μη γραμμική σχέση. Και επομένως δεν μπορούν να ελεγχθούν ξεχωριστά. Το πλάτος ανάκλασης φθάνει σε ελάχιστο όταν η μετατόπιση φάσης είναι μηδέν, αλλά αυξάνεται ομοίμορφα καθώς η μετατόπιση φάσης πλησιάζει τους 180 ή -180 με αποτέλεσμα να πλησιάζει ασυμπτωτικά το 1, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



ΣΧΗΜΑ 3. (α) τη δομή του RIS συμπεριλαμβανομένου του ανακλαστικού στοιχείου του και του ισοδύναμου μοντέλου κυκλώματος RLC και (β) τις αποκρίσεις πλάτους και φάσης για διαφορετικά στοιχεία και τις αντίστοιχες τιμές χωρητικότητάς τους.



ΣΧΗΜΑ 4. Ανακλώμενο πλάτος έναντι μετατόπισης φάσης για το στοιχείο RIS

2.2. Γεωμετρικός συντονισμός

Πολλά μεταϊλικά βασίζονται σε αγώγιμα εξαρτήματα, τα οποία, σε συνδυασμό με το εισερχόμενο ΗΜ σήμα, μπορούν να παράγουν τον απαιτούμενο ηλεκτρικό ή μαγνητικό συντονισμό ή άλλη ωφέλιμη συμπεριφορά. Επειδή τα χαρακτηριστικά μεταϊλικού γενικά επηρεάζονται από τη μορφή, το μέγεθος, την κατεύθυνση και την εγγύτητα των αγώγιμων στοιχείων, οι μέθοδοι που αλλάζουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αγώγιμων στοιχείων μπορούν να αποτελέσουν ένα ισχυρό εργαλείο για τη ρύθμιση ή την εναλλαγή της απόκρισης μεταϊλικού. Μετατοπίζοντας αγώγιμα εξαρτήματα μεταξύ τους, τα μεταϊλικά μπορούν να ρυθμιστούν γεωμετρικά. Τα μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS) χρησιμοποιούνται συχνά σε μεταϊλικά THz για την επίτευξη της μηχανικής κίνησης των αγώγιμων στοιχείων. Η σύζευξη μεταξύ των αγώγιμων στοιχείων ποικίλλει όταν ωθούνται πιο κοντά ή πιο μακριά, με αποτέλεσμα διακυμάνσεις στη συχνότητα συντονισμού ή την ισχύ συντονισμού. Τα κινούμενα αγώγιμα στοιχεία μπορούν επίσης να αλλάξουν το σχήμα του στοιχείου. Το

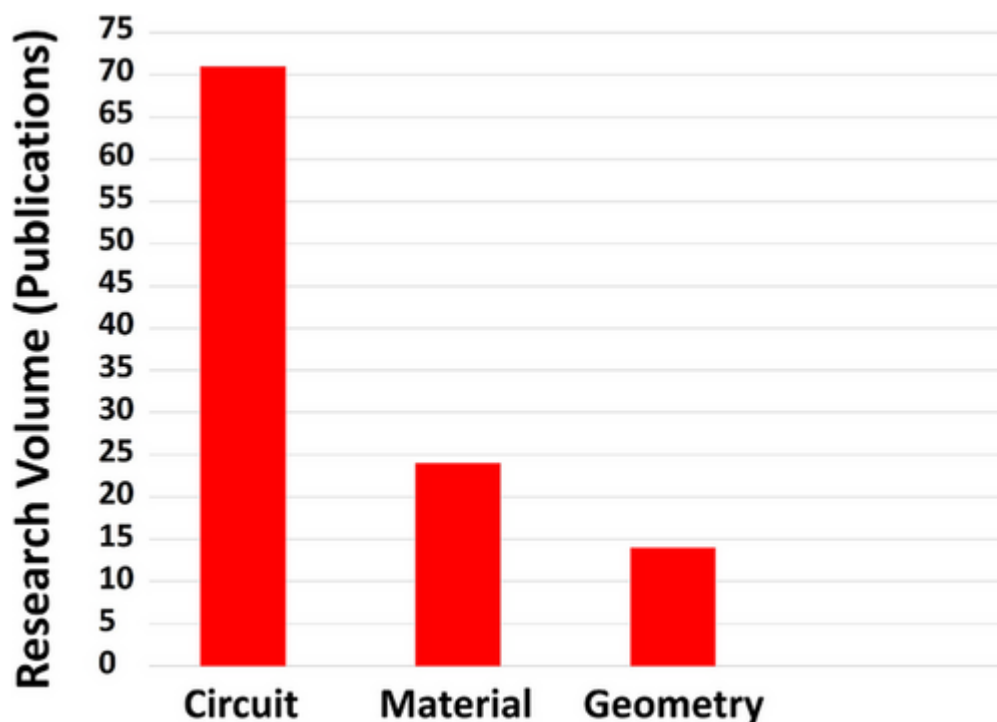
τέντωμα του υποστρώματος για περαιτέρω διαχωρισμό των στοιχείων στο υπόστρωμα, έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές διακυμάνσεις στη συχνότητα συντονισμού των στοιχείων, και είναι μια μοναδική προσέγγιση για τη μετακίνηση αγώγιμων εξαρτημάτων σε ένα μεταϋλικό. Πολλές επιφάνειες συντονισμού υψηλής σύνθετης αντίστασης (HIS) έχουν αποδειχθεί ότι αλλάζουν τη φάση του ανακλώμενου κύματος ολισθαίνοντας μηχανικά μια άνω πλάκα στοιχείων κατά μήκος της επιφάνειας ή κατακόρυφα [19]. Ο γεωμετρικός συντονισμός μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές διακυμάνσεις στα χαρακτηριστικά του μεταϋλικού αφού η γεωμετρία των αγώγιμων στοιχείων έχει τόσο μεγάλη επίδραση στη σχετική συχνότητα συντονισμού. Ο γεωμετρικός συντονισμός, από την άλλη πλευρά, είναι δύσκολο να εκτελεστεί καθώς απαιτεί έναν φυσικό μηχανισμό ελέγχου.

2.3. Ρύθμιση υλικού

Μπορούν να δημιουργηθούν διάφορες δυνατότητες συντονισμού με την αλλαγή της δομής των στοιχείων συντονισμού, αλλά οι ιδιότητες του μεταϋλικού καθορίζονται τελικά από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της κυτταρικής μονάδας. Διάφορα συστατικά υλικά έχουν μελετηθεί και χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία μας για να τεθούν τα μεταϋλικά σε συντονισμό με την αλλαγή της διαπερατότητας, της διαπερατότητας και της αγωγιμότητας των υλικών που συνθέτουν την κυτταρική μονάδα. Πολλά υποψήφια υλικά, όπως σίδηρο-ηλεκτρικά φιλμ Ba 0,5 Sr 0,5 TiO_3 (BST), υγροί κρύσταλλοι και υλικά αλλαγής φάσης $Ga-Sb-Te$ (GST), έχουν χρησιμοποιηθεί για τον συντονισμό της διαπερατότητας των μεταϋλικών. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με το θέμα του συντονισμού υλικού μπορείτε να βρείτε στο [19, 35, 36].

Ο σκοπός της παρουσίασης τριών προσεγγίσεων συντονισμού στην παρούσα εργασία ανασκόπησης είναι να επισημανθεί ότι η πρώτη τεχνική (συντονισμός κυκλώματος) χρησιμοποιείται ευρέως σε πραγματικές εφαρμογές και εφαρμογές λόγω του γρήγορου χρόνου απόκρισης, των χαμηλών απωλειών ανάκλασης, της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και της χαμηλής τιμής του εξοπλισμού. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ένα σχετικό παράδειγμα κυκλώματος RLC που βασίζεται σε ένα ανακλαστικό στοιχείο και μια δίοδο PIN τοποθετημένη στο κέντρο του ανακλαστικού στοιχείου. Τέτοιες

αναπαραστάσεις ισοδυναμίας κυκλωμάτων RLC χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως στη βιβλιογραφία. Ο πίνακας 2 παρέχει μια επισκόπηση των σύγχρονων εννοιών και εφαρμογών των έξυπνων ασύρματων περιβαλλόντων, λαμβάνοντας υπόψη βασικές παραμέτρους όπως η αρχιτεκτονική της επιφάνειας, οι μηχανισμοί ελέγχου και η διαμόρφωση του συστήματος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μελετών στο Σχήμα 5, παρατηρείται ότι οι περισσότερες μελέτες βασίζονται περισσότερο στον συντονισμό κυκλωμάτων σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεθόδους συντονισμού.



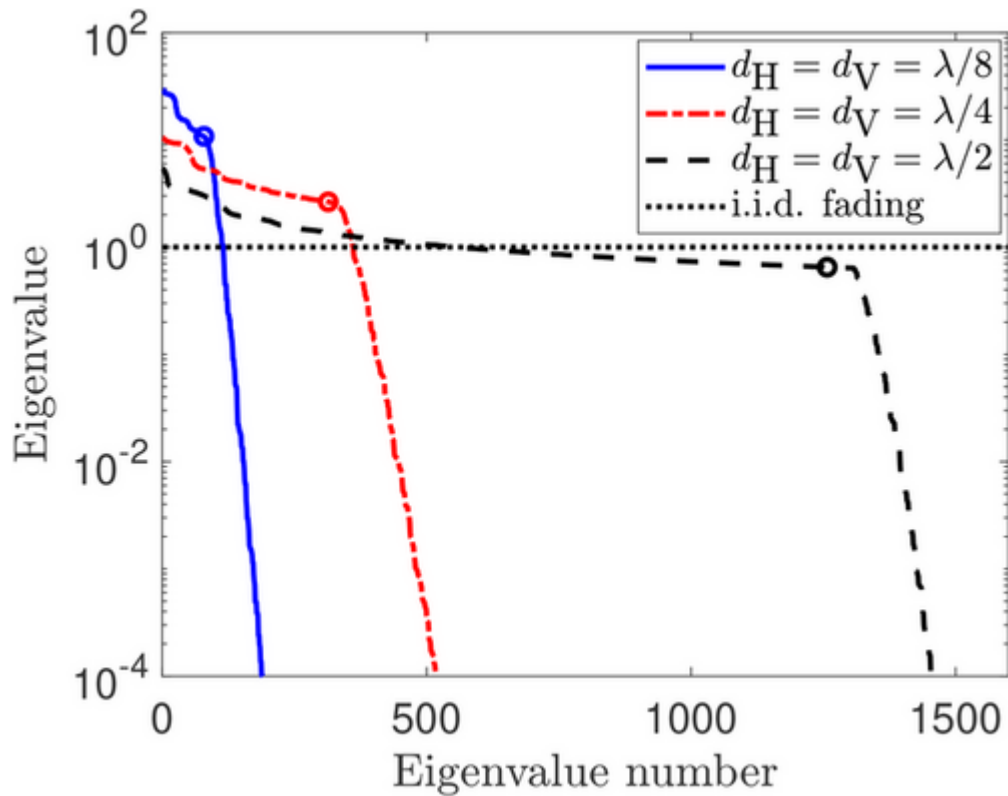
ΣΧΗΜΑ 5. Σύγκριση μηχανισμών συντονισμού

2.4. Εξασθένιση καναλιού

Το RIS μπορεί να επικαλυφθεί στο μπροστινό μέρος κτιρίων στο ασύρματο περιβάλλον, όπως συμπαγείς κατασκευές και επάνω επιφάνειες δωματίων, ή να μεταφερθεί σε εναέρια οχήματα, όπως μη σταθερά μπαλόνια στον αέρα και UAV [37], για να επιτευχθεί η ιδέα του περιβάλλοντος έξυπνου ασύρματου συνδέσμου. Ως αποτέλεσμα, για μοντελοποίηση και ανάλυση απόδοσης ασύρματης επικοινωνίας με τη βοήθεια RIS, είναι απαραίτητα μοντέλα επιστημονικής ανάλυσης που λαμβάνουν υπόψη τις γεωγραφικές τοποθετήσεις των στοιχείων RIS, τα χαρακτηριστικά EM του RIS και τις

τροποποιήσεις κυμάτων που χρησιμοποιούνται από παρακείμενα στοιχεία RIS στο περιβάλλον. Σε ένα τυπικό περιβάλλον ασύρματης επικοινωνίας, το μεταδιδόμενο ραδιοσήμα έρχεται σε επαφή με πολλά αντικείμενα στη διαδρομή του και συναντά ανακλάσεις, διαθλάσεις και σκέδαση, με αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό του μεταδιδόμενου κύματος. Τα στοιχεία πολλαπλών διαδρομών είναι επαναλαμβανόμενα σήματα που φθάνουν στον δέκτη τυχαία και απροσδόκητα με διαφορετικά πλάτη, μετατοπίσεις φάσης και καθυστερήσεις σήματος, προκαλώντας σημαντικές παραμορφώσεις στο λαμβανόμενο σήμα λόγω σχετικής εποικοδομητικής ή καταστροφικής συναρμογής.

Ο κύριος στόχος των ευφών επιφανειών είναι η δημιουργία ελεγχόμενων ραδιοεπικοινωνιών που μετατρέπουν ένα εξαιρετικά απρόβλεπτο ράδιο-κανάλι σε ελεγχόμενο χώρο, τροποποιώντας προσεκτικά τη διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος υπό τον έλεγχο του λογισμικού. Η ακριβής αξιολόγηση των επιδόσεων απαιτεί μοντέλα καναλιού που αποτυπώνουν τα βασικά χαρακτηριστικά όλων των ραδιοτεχνολογιών. Το μεγαλύτερο μέρος της θεωρητικής εργασίας σχετικά με τη ραδιοτεχνολογία υπό συνθήκες σκέδασης βασίστηκε και συνεχίζει να βασίζεται στο μοντέλο του καναλιού ανεξάρτητης και ταυτόσημης κατανομής (IDD) Rayleighfading[39-41]. Όταν χρησιμοποιείται ορθογώνιο RIS, οι συγγραφείς στο [38] έδειξαν ότι τα παραδείγματα αυτά είναι μη ρεαλιστικά και παρουσίασαν ένα φυσικά έγκυρο ισοδύναμο μοντέλο εξασθένισης Rayleigh που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά για την αξιολόγηση των επικοινωνιών που υποστηρίζονται από RIS.

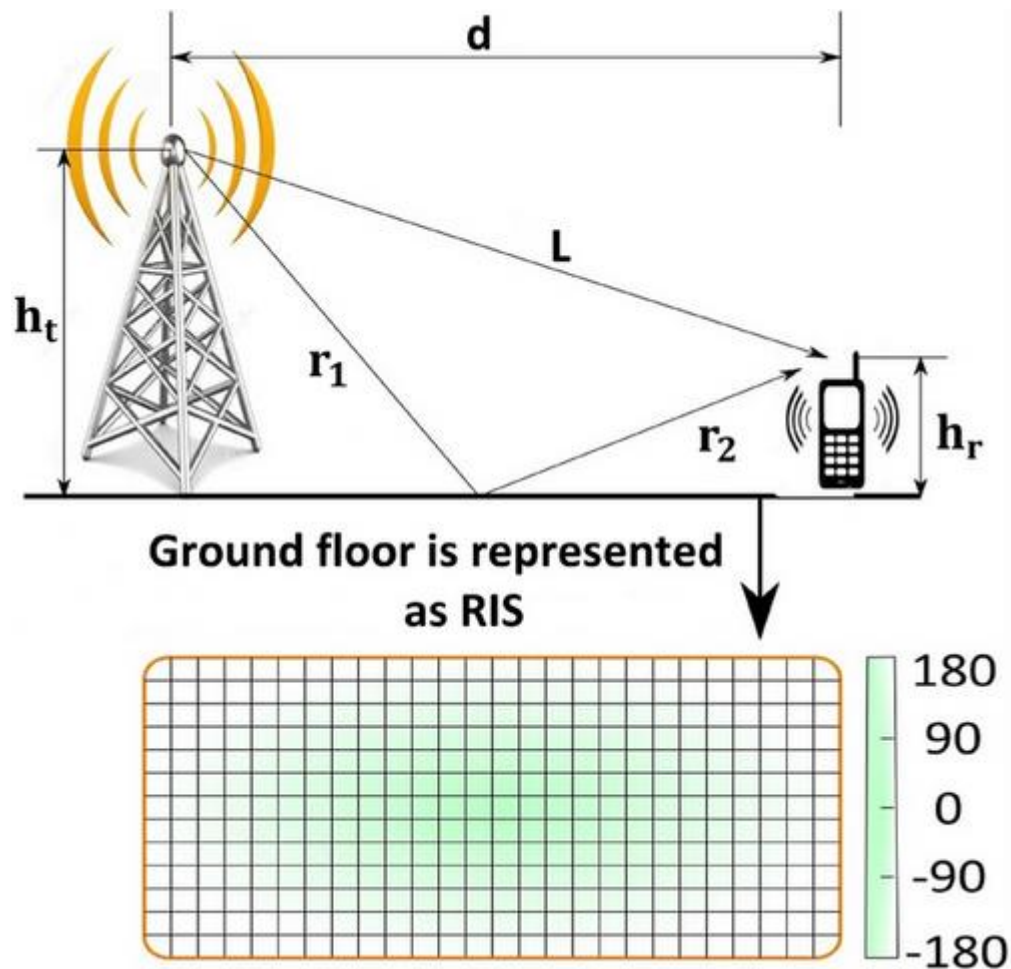


ΕΙΚΟΝΑ 6. Οι ιδιο-τιμές του R σε φθίνουσα σειρά για ένα RIS με $N = 1600$.

2.5. Pathloss

Ο συγγραφέας στο [42] αξιολόγησε ένα μοντέλο καναλιού δύο ακτινών σύμφωνα με το σχήμα 7. Στο πιο τέλειο σενάριο διάδοσης, όπου δεν υπάρχει κίνηση του χρήστη και δεν υπάρχουν απροσδόκητες περιβαλλοντικές επιδράσεις, μία ανεξέλεγκτη ανάκλαση στο έδαφος μπορεί να προκαλέσει σημαντική υποβάθμιση του σήματος. Οι συγγραφείς υποθέτουν ότι μια μεταβλητή μεταεπιφάνεια καλύπτει ολόκληρο το έδαφος το RIS μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τέλειος μετατοπιστής φάσης, σχεδιασμένος να τροποποιεί τη φάση του ανακλώμενου σήματος έτσι ώστε η LOS και η ανακλώμενη ακτινοβολία να προστίθενται εποικοδομητικά και να αυξάνεται η ισχύς του σήματος. Η χρήση προγραμματιζόμενων έξυπνων επιφανειών έχει αποδειχθεί ότι έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει τους κανόνες κλιμάκωσης για την προσαρμογή της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος με την απόσταση [42]. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν στο [42] είναι πολλά υποσχόμενα, αλλά χωρίς σφάλματα μετατροπής από αναλογικό σε ψηφιακό, η φάση ανάκλασης για όλες τις γωνίες πρόσπτωσης και σκέδασης, ακόμα και

με ολοκληρωμένη επίγνωση της κατάστασης φάσης του ΗΣΥ, οδηγεί στην απουσία εξασθενήσεων ανάκλασης τα οποία δεν είναι ούτε ρεαλιστικά ούτε πρακτικά. Επιπλέον, σε πιο ρεαλιστικά μοντέλα συστημάτων, η βελτιστοποίηση της φάσης δεν είναι συνήθως μια απλή διαδικασία.

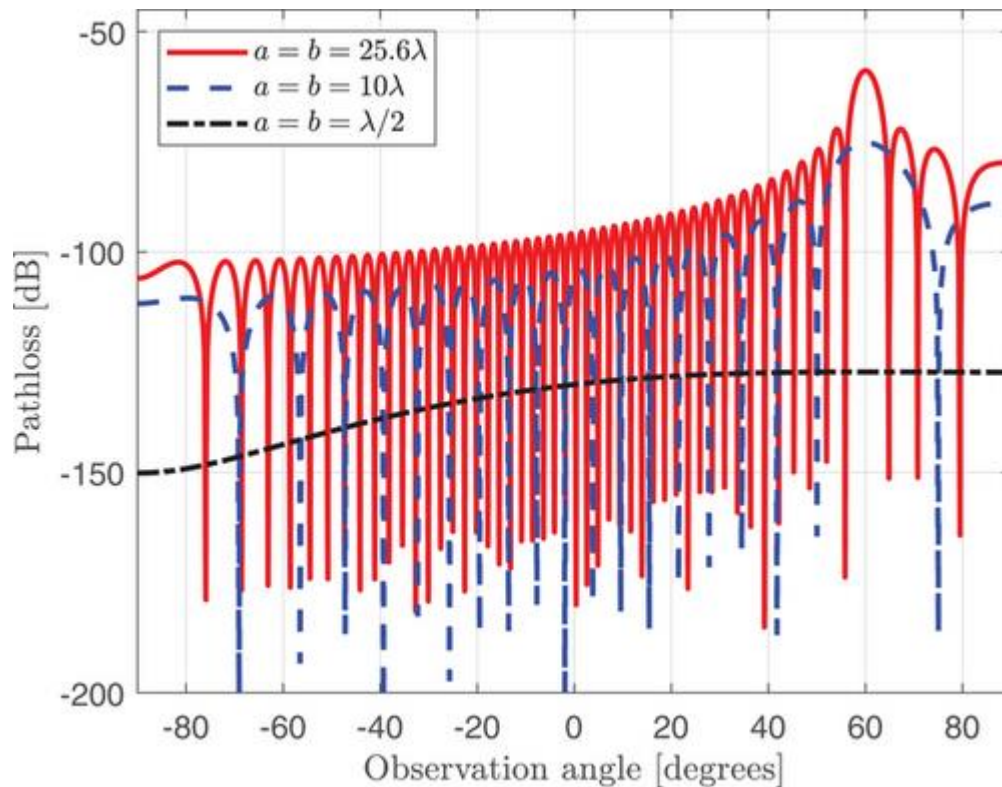


ΕΙΚΟΝΑ 7. Απεικόνιση της παθολογίας του Μοντέλου Διάδοσης Δύο Ακτίνων

Με την έρευνα της φυσικής και των χαρακτηριστικών EM των RIS, ο συγγραφέας στο [43] αναπτύσσει μοντέλα παθολογικής απώλειας ελεύθερου χώρου για ασύρματες επικοινωνίες υποβοηθούμενες από RIS για διάφορες περιστάσεις, οι οποίες μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες: διαμόρφωση δέσμης υποβοηθούμενη από RIS και μετάδοση υποβοηθούμενη από RIS. Τα προτεινόμενα μοντέλα αποκαλύπτουν τις σχέσεις μεταξύ της απώλειας ελεύθερου χώρου του RIS και των αποστάσεων τόσο από τον πομπό όσο και από τον δέκτη στο RIS. Για να εξηγηθεί η παθολογία ελεύθερου χώρου της διαμόρφωσης δέσμης και της εκπομπής με τη βοήθεια RIS, αναπτύχθηκαν τρία μοντέλα παθολογικής απώλειας ελεύθερου χώρου: οι εξισώσεις σχηματισμού

δέσμης μακρινών και κοντινών πεδίων και η εξίσωση εκπομπής κοντινού πεδίου. Οι συγγραφείς στο [44] βελτίωσαν τα μοντέλα παθολογίας που προέκυψαν στο [43] διαμορφώνοντας το κοινό μοτίβο ακτινοβολίας κεραιών και κυψελών μονάδας, επιπλέον της διευκρίνισης της σχέσης μεταξύ του κέρδους σκέδασης της μονάδας κυψέλης και του μεγέθους της.

Οι συγγραφείς στο [45] χρησιμοποιούν μεθόδους φυσικής οπτικής για τον υπολογισμό των απωλειών στο μακρινό πεδίο και εξηγούν γιατί μια επιφάνεια μπορεί να αποτελείται από πολλά αναδιαμορφώσιμα στοιχεία που μεμονωμένα συμπεριφέρονται ως διάχυτοι σκεδαστές αλλά συλλογικά εκπέμπουν σήματα στην επιθυμητή κατεύθυνση με δεδομένο εύρος δέσμης. Ως αποτέλεσμα, το RIS μπορεί να θεωρηθεί ως μια συστοιχία υπό μεγέθους διάχυτων σκεδαστών που στοχεύουν τη φάση του ανακλώμενου σήματος στο δέκτη και προκαλούν ανώμαλες ανακλάσεις. Το Σχήμα 8 παρουσιάζει την απώλεια ως συνάρτηση της γωνίας παρατήρησης για διάφορα μεγέθη RIS όπου μπορεί να παρατηρηθεί ότι το πλάτος της κύριας δέσμης μειώνεται καθώς αυξάνεται η επιφάνεια του RIS όταν τα μεγέθη RIS είναι υπό-μήκη κύματος ($r_1/2$ ή λιγότερο), το RIS συμπεριφέρεται ουσιαστικά σαν διάχυτος σκεδαστής. Οι συγγραφείς έδειξαν ότι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος είναι ανάλογη του τετραγώνου του εμβαδού της RIS και του $1/r_1 + r_2$ (r_1 η απόσταση μεταξύ του πομπού και της RIS, r_2 η απόσταση μεταξύ της RIS και του δέκτη). Αυτό καταρρίπτει την υπόθεση [42] ότι η λαμβανόμενη ισχύς είναι ανάλογη του $1/r_1$. Για να αντισταθμιστεί η τεράστια απώλεια ισχύος λόγω της διπλής εξασθένησης, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας σημαντικός αριθμός ανακλαστικών στοιχείων RIS, συνδυάζοντας το μέγεθος και τη φάση των ανακλάσεων τους για να επιτευχθούν υψηλότερα κέρδη παθητικής διαμόρφωσης δέσμης. Το RIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εποικοδομητική δέσμη προς μια δεδομένη κατεύθυνση χρησιμοποιώντας διαφορετικές μετατοπίσεις φάσης για να επιτευχθεί το γεγονός που αποτελείται από πολλά στοιχεία υπό-μηκών κύματος που διασκορπίζουν το κύμα.



ΕΙΚΟΝΑ 8. Μονοπάτι της ανακλώμενης διαδρομής.

Χρησιμοποιώντας τη θεωρία της διαβάθμισης της περίθλασης και την αρχή Huygens-Fresnel, οι συγγραφείς [46] περιγράφουν την παθολογία του RIS τόσο στο κοντινό όσο και στο μακρινό οπτικό πεδίο- το RIS αναπαρίσταται ως ένα ομοιογενές στρώμα ΗΜ υλικού με αμελητέο βάθος, ενώ το RIS αναπαρίσταται ως ένα ομοιογενές στρώμα ΗΜ υλικού με βάθος 0,5 mm. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν μια μέθοδο στατικής φάσης για τον προσδιορισμό των περιοχών όπου η απώλεια διαδρομής βασίζεται στο άθροισμα και το γινόμενο των αποστάσεων μεταξύ του RIS και της πηγής και μεταξύ του RIS και του στόχου. Η μέθοδος ανάλυσης που παρουσιάστηκε αποδεικνύεται αρκετά ευέλικτη ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σταθερές ανακλαστικές επιφάνειες, μη επίπεδους ανακλαστήρες και φακούς με υψηλή συγκέντρωση και ανακλαστικές ιδιότητες.

Οι συγγραφείς στο [47] παρουσιάζουν μια ενοποιημένη θεώρηση της αντιφατικής συμπεριφοράς του RIS ως σκεδαστή και του RIS ως καθρέπτη, όπου το RIS μπορεί να θεωρηθεί ως μηδενικής διάστασης, μονοδιάστατο ή δισδιάστατο αντικείμενο ανάλογα με το μέγεθος και την απόστασή του και η εκπεμπόμενη ισχύς του παρουσιάζεται να εξαρτάται από την τέταρτη, τρίτη και δεύτερη δύναμη της απόστασης, αντίστοιχα.

Επιπλέον, η αποσύνθεση ζωνών Fresnel μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αλληλοεπιδρούν οι διάφορες μεταβλητές. Ειδικότερα, διερευνάται η σημασία της φάσης στον καθορισμό του τελικού παθολογικού δείκτη και αποδεικνύεται ότι η διάδοση στον ελεύθερο χώρο μπορεί να ξεπεράσει την απόδοση μέσω έξυπνης λήψης αποφάσεων. Τα ευρήματα υπολογίζονται αριθμητικά και το λαμβανόμενο σήμα ως προς την απόσταση δεν έχει σαφή αναλυτική σημασία. Στο [48] αναφέρει παρόμοιες παρατηρήσεις.

Το Σχήμα 5 δείχνει τον όγκο των ερευνών (δημοσιευμένες εργασίες) που χρησιμοποιούν τις τρεις συνεργατικές προσεγγίσεις, αλλά για να μην επαναλάβουμε αυτό που έχουν κάνει άλλοι συγγραφείς, η παρούσα εργασία δεν περιλαμβάνει τις δημοσιευμένες εργασίες [19] αλλά αναφέρεται στην πιο κοινή για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η χρήση της πρώτης προσέγγισης δεν είναι επαρκής και απαιτείται περαιτέρω έρευνα σχετικά με τις άλλες δύο προσεγγίσεις παράλληλα με τη μέθοδο συντονισμού του κυκλώματος.

Παρατηρήσαμε μια διαφωνία με τους συγγραφείς του [42] σχετικά με την ανακλώμενη ισχύ στην περιοχή του μακρινού πεδίου ως συνάρτηση της απόστασης του δέκτη στο RIS από τον πομπό και το RIS, ενώ άλλες μελέτες συμφωνούν με το [45]. Επιπλέον, οι συσχετίσεις εξασθένισης που περιγράφονται στο [38] δείχνουν σαφώς ότι η χρήση καναλιών εξασθένισης IDD στην ανάλυση ασύρματων συστημάτων RIS δεν συνιστάται, ανοίγοντας την πόρτα για επανεξέταση προηγούμενων εργασιών που βασίζονται στο μοντέλο εξασθένισης IDD. Ο πίνακας 3 παρέχει μια σύγκριση των διαφορετικών μοντέλων παθολογίας στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Στόχος της αναγνώρισης των προηγούμενων μελετών είναι η διερεύνηση των παραγώγων απωλειών διαδρομής σε υγιή βάση με την παρουσίαση όλων των σεναρίων, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι απώλειες διαδρομής βάσει απόστασης, η μεγάλη και η μικρή σκίαση και η εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών είναι παράγοντες που επηρεάζουν τον συντελεστή καναλιού. Ειδικότερα, δεδομένου ότι η προβλεπόμενη απώλεια καναλιού RIS αντιπροσωπεύει τη μέση ισχύ καναλιού, είναι σημαντική για την ανάλυση του προϋπολογισμού σύνδεσης και την αξιολόγηση των επιδόσεων των ράδιο-συστημάτων με υποστήριξη RIS.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Σύγκριση Pathloss για την υπάρχουσα βιβλιογραφία

Αναφορά	Έννοια	Πεδίο	Στόχος	Σημειώσεις
[42]	LoS και ακτίνες που ανακλώνται στο έδαφος σε ένα μοντέλο διάδοσης δύο ακτινών	Καθεστώς απομακρυσμένου πεδίου	Beamforming	Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος είναι ανάλογη με το τετράγωνο της περιοχής $RIS N^2$ και αντιστρόφως ανάλογη με το τετραγωνικό άθροισμα των αποστάσεων μεταξύ του TX και του RIS και του RIS και του $RX1(n1 + n2)*2$
[43]	Η φυσική και η EM φύση του RIS	Καθεστώς μακρινού και κοντινού πεδίου	Beamforming και εκπομπή	Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος είναι ανάλογη με το τετράγωνο της περιοχής RIS και αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο γινόμενο $1/r1*r2$ των αποστάσεων μεταξύ πομπού και RIS και μεταξύ RIS και δέκτη

Αναφορά	Έννοια	Πεδίο	Στόχος	Σημειώσεις
[45]	Τεχνικές Φυσικής Οπτικής και Θεωρία Κεραίας	Καθεστώς απομακρυσμένου πεδίου	Beamformi ng	Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος είναι ανάλογη με το τετράγωνο της περιοχής RIS και αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο γινόμενο $1/(r_1 * r_2)^2$ των αποστάσεων μεταξύ πομπού και RIS και μεταξύ RIS και δέκτη
[46]	Η έννοια Huygens- Fresnel και η γενικευμένη βαθμωτή θεωρία περίθλασης	Καθεστώς μακρινού και κοντινού πεδίου	Ανώμαλοι καθρέφτες και σκόρπια	Τα RIS λειτουργούν σαν ανώμαλα κάτοπτρα στον τομέα μικρών αποστάσεων ενώ συμπεριφέρονται ως διασκορπιστές στο καθεστώς μεγάλων αποστάσεων.
[47]	Η αποσύνθεση της ζώνης Fresnel	Καθεστώς μακρινού και κοντινού πεδίου	Ανώμαλοι καθρέφτες και σκόρπια	Το RIS μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μηδενικό, ένα ή δισδιάστατο

Αναφορά	Έννοια	Πεδίο	Στόχος	Σημειώσεις
				αντικείμενο, ανάλογα με το μέγεθος και την απόστασή του, και η ακτινοβολούμενη ισχύς του παρουσιάζει μια εξάρτηση με την τέταρτη, τρίτη ή δεύτερη ισχύ της απόστασης, αντίστοιχα.
[49]	Μεταλλικοί ανακλαστήρες που χρησιμοποιούνται μετρήσεις, αναλυτικές εκφράσεις και προσομοιώσεις ανίχνευσης ακτινών	Καθεστώς κοντινού πεδίου	Ανώμαλος καθρέφτης	Στην ίδια απόσταση ζεύξης, η ανακλώμενη ισχύς που λαμβάνεται είναι ίδια με την ισχύ του ελεύθερου χώρου LoS για επικοινωνίες κυμάτων χιλιοστών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Αυτή η ενότητα χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο μέρος 1 παρουσιάζεται η ανάλυση επιδόσεων των RIS με τη χρήση διαφόρων μετρικών επιδόσεων, όπως η πιθανότητα σφάλματος bit και ο ρυθμός αθροίσματος, για την αξιολόγηση της συνολικής συμπεριφοράς των ραδιοσυστημάτων με δυνατότητα RIS σε διαφορετικά κανάλια και περιβάλλοντα. Επιπλέον, το δεύτερο μέρος επικεντρώνεται στις τεχνικές και τους αλγορίθμους βελτιστοποίησης της αντανάκλασης των RIS.

3.1. Ανάλυση απόδοσης

Σε αυτή τη μελέτη, θα παρουσιάσουμε τα πλεονεκτήματα του RIS και τις συγκρίσεις απόδοσης με άλλα ασύρματα συστήματα. Επιπλέον, δείχνουμε τη συμπεριφορά και τη χρήση του RIS ως ανακλαστήρα, δέκτη και πομπού λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις απόδοσης που προτείνονται στη βιβλιογραφία για συστήματα ασύρματης επικοινωνίας που υποστηρίζονται από RIS, όπως η πιθανότητα κάλυψης ή διακοπής λειτουργίας, η πιθανότητα σφάλματος bit, η εργοδοτική χωρητικότητα και τα επιτεύξιμα δεδομένα.

3.1.1 Συγκριτική μελέτη μεταξύ RIS με δίκτυα ρελέ και επιφανειών τυχαίας φάσης

Αρχικά ορισμένα από τα μοναδικά πλεονεκτήματα της ραδιοεπικοινωνίας με τη χρήση RIS είναι τα εξής:

- *Πυκνή ανάπτυξη και βιώσιμη λειτουργία:* Εάν το RIS αποτελείται από έξυπνες μεταεπιφάνειες, υπάρχουν πολλές μονάδες μονάδων υποκυμάτων στο εσωτερικό του. Τέτοιες εγκαταστάσεις διασποράς μικρού μήκους υπό-κύματος δεν χρησιμοποιούνται συνήθως σε ραδιοεπικοινωνίες, όπου συνήθως αποτρέπεται η αμοιβαία σύζευξη μεταξύ των ανακλαστήρων εξασφαλίζοντας επαρκή απόσταση των στοιχείων σκέδασης στο σχέδιο. Αυτό ανοίγει το δρόμο για την ανάπτυξη νέων σεναρίων κύματος και διάδοσης που μπορούν να επηρεάσουν όλα τα δυνατά όρια απόδοσης του ασύρματου δικτύου, καθώς και για νέα σενάρια σε σχέδια όπου τα ασύρματα συστήματα κατασκευάζονται για

να είναι πλήρως διασυνδεδεμένα. Οι RIS μπορούν να αναπτυχθούν σε προσόψεις κτιρίων, εσωτερικούς τοίχους, οροφές. Οι RIS μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν σε μια μεγάλη ποικιλία επιφανειών, συμπεριλαμβανομένων των προσόψεων κτιρίων, των εσωτερικών τοίχων και των οροφών.

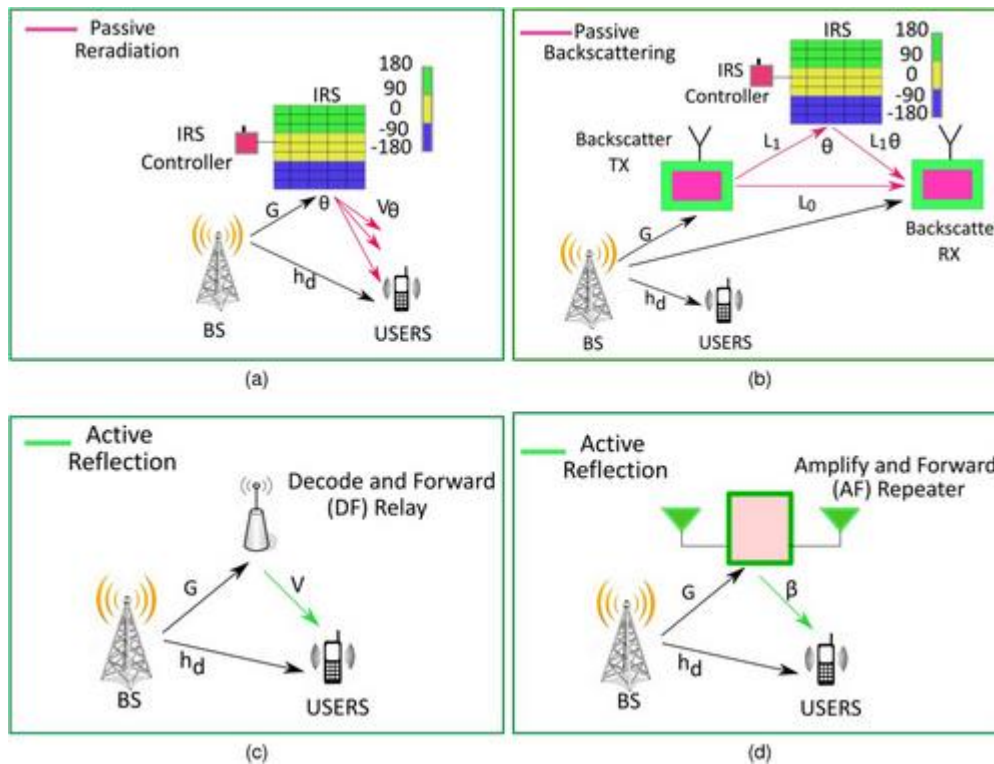
- *Η επικοινωνία με RIS δεν απαιτεί νέα επεξεργασία σήματος:* Η ημι-παθητική φύση των RIS ανοίγει νέες δυνατότητες για τον επαναπροσδιορισμό των επικοινωνιών, επιτρέποντας τη μετάδοση δεδομένων χωρίς τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, αντί της επανεπεξεργασίας των υφιστάμενων ηλεκτρομαγνητικών σημάτων. Αυτό είναι χρήσιμο για την ελαχιστοποίηση της μόλυνσης ΗΜ και τη μείωση της ανθρώπινης έκθεσης σε ΗΜ, η οποία συνήθως αυξάνεται καθώς αναπτύσσεται περισσότερος εξοπλισμός δικτύου και χρησιμοποιείται περισσότερο φάσμα. Αυτό είναι κρίσιμο για την αποτελεσματική εγκατάσταση ασύρματης τεχνολογίας σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε πεδία ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως τα νοσοκομεία.
- *Δυνατότητα υψηλής εστίασης:* Αυτή η ικανότητα υψηλής εστίασης εξυπηρετεί διάφορους σκοπούς, μεταξύ των οποίων, πρώτον, επιτρέπει επικοινωνίες χωρίς παρεμβολές σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, δεύτερον, επιτρέπει την ακριβή αναγνώριση και μοντελοποίηση του περιβάλλοντος από τους χρήστες του ασύρματου συνδέσμου και τέλος, μεταδίδει ισχύ μέσω ασύρματης σύνδεσης. Φορτίστε τις συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία. Το Intelligent Wireless Wall (IWW) είναι ένα πραγματικό παράδειγμα αυτής της εξαιρετικά συγκεντρωτικής λειτουργικότητας. Το IWW αποτελείται από μια επαναδιαμορφώσιμη έξυπνη επιφάνεια που μπορεί να εκτελέσει διεύθυνση δέσμης και διαμόρφωση δέσμης και αλγόριθμους μηχανικής μάθησης που μπορούν να αναγνωρίσουν με ακρίβεια και αυτόματα τις ανθρώπινες δραστηριότητες [50].
- *Ευέλικτη αναδιαμόρφωση και αυξημένη χωρητικότητα:* Η αναδιαμόρφωση του ραδιοκαναλιού με τη χρήση RIS μπορεί να παρέχει μεγαλύτερη χωρητικότητα σύνδεσης, ενώ παράλληλα μειώνει την κατανάλωση ισχύος για επικοινωνία από σημείο σε σημείο. Με τη χρήση RIS, ο μετριασμός των παρεμβολών είναι πιο αποτελεσματικός και καλύτερος για τους τελικούς χρήστες στην άκρη της κυψέλης. Επιτυγχάνεται απόδοση σήματος. Τα καταναμεμημένα στοιχεία των

κυβελοειδών δικτύων πολλαπλών χρηστών μπορούν να διαχωριστούν και να διαμοιραστούν για τη βελτιστοποίηση της μετάδοσης δεδομένων για πολλαπλούς χρήστες. Επομένως, τα ασύρματα δίκτυα που βασίζονται σε RIS έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την απόδοση του αθροιστικού ρυθμού ή τη μέγιστη δικαιοσύνη μεταξύ των χρηστών, εκτός από την παροχή QoS.

- *Διερεύνηση νέων ασύρματων εφαρμογών:* Η πρόοδος στο MOE μπορεί να ανοίξει την πόρτα σε νέες και συναρπαστικές ερευνητικές λεωφόρους. Το RIS, για παράδειγμα, παρουσιάστηκε πρόσφατα ως μια μοναδική τεχνική για την αποφυγή επιθέσεων ασύρματης υποκλοπής, ρυθμίζοντας ταυτόχρονα τη μεταφορά στην πηγή και τις βελτιστοποιημένες ανακλάσεις στο RIS. Το επιτεύξιμο ποσοστό μυστικότητας ενισχύεται σημαντικά με την ανάπτυξη των RIS κοντά στον νόμιμο χρήστη ή τον χρήστη που παρακολουθεί και διαμορφώνοντας κατάλληλα την παθητική διαμόρφωση δέσμης RIS για να αυξήσει ή να μειώσει τον επιτεύξιμο ρυθμό του νόμιμου χρήστη ή του χρήστη που παρακολουθεί [51]. Παρά το εν λόγω χαρακτηριστικό στην επικοινωνία μυστικότητας με τη βοήθεια RIS, η CSI πληροφοριών κατάστασης καναλιού εξακολουθεί να είναι απαραίτητη μεταξύ του AP και των υποκλοπών καθώς και μεταξύ του RIS και του υποκλοπής. Η πρόκληση είναι προφανής όταν οι υποκλοπές συνεχίζουν σκόπιμα να είναι κρυφοί, μυστικοί ή κρυφοί λόγω του γεγονότος ότι η σύνδεσή τους CSI δεν μπορεί να εκτιμηθεί σωστά από τη διαρροή σήματος τους, και αυτό απαιτεί νέες μεθόδους εκτίμησης καναλιών και ισχυρή διαμόρφωση δέσμης RIS λαμβάνοντας υπόψη την ατελή CSI του κρυφακού [52]. Επιπλέον, σε μεγάλης κλίμακας δίκτυα ασύρματης επικοινωνίας μυστικότητας με χιλιάδες χρήστες, νόμιμους ή υποκλοπούς, καθώς και σε εξαιρετικά πυκνές αναπτύξεις RIS, το RIS είναι το κλειδί για την αύξηση της απόδοσης ασφάλειας δικτύου και την ενίσχυση της ασφάλειας φυσικού επιπέδου για μελλοντικά ασύρματα σύγχρονα συστήματα 6G όπου 1000x, σύμφωνα με το Σχήμα 1, απαιτείται αύξηση στους ρυθμούς δεδομένων που αποδίδουν στόχο 1 Terabit/sec. Κατά συνέπεια, η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων των εκτιμήσεων καναλιών και της ισχυρής διαμόρφωσης δέσμης RIS σε τεράστια δίκτυα 6G χρήζουν περαιτέρω ερευνών. Πολλά άλλα αναπτυσσόμενα ερευνητικά πεδία, συμπεριλαμβανομένης της ασύρματης

μεταφοράς ισχύος, των επικοινωνιών UAV και του MEC, αξιοποιούν τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας RIS.

Προκειμένου να αξιολογηθούν τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας RIS, θα πρέπει να συγκριθούν με διαφορετικούς τύπους δικτύων ρελέ και επιφανειών που δεν είναι επικαλυμμένες με RIS.



ΕΙΚΟΝΑ 9. Σύγκριση διαφορετικών ασύρματων συστημάτων. (α) Ασύρματη επικοινωνία υποβοηθούμενη από RIS, (β) ασύρματη επικοινωνία backscatter, (γ) Αποκωδικοποίηση και προώθηση (DF) Ασύρματη επικοινωνία μέσω αναμετάδοσης, (δ) Ασύρματη επικοινωνία υποβοηθούμενη από επαναλήπτη (AF) Amplify and Forward (AF).

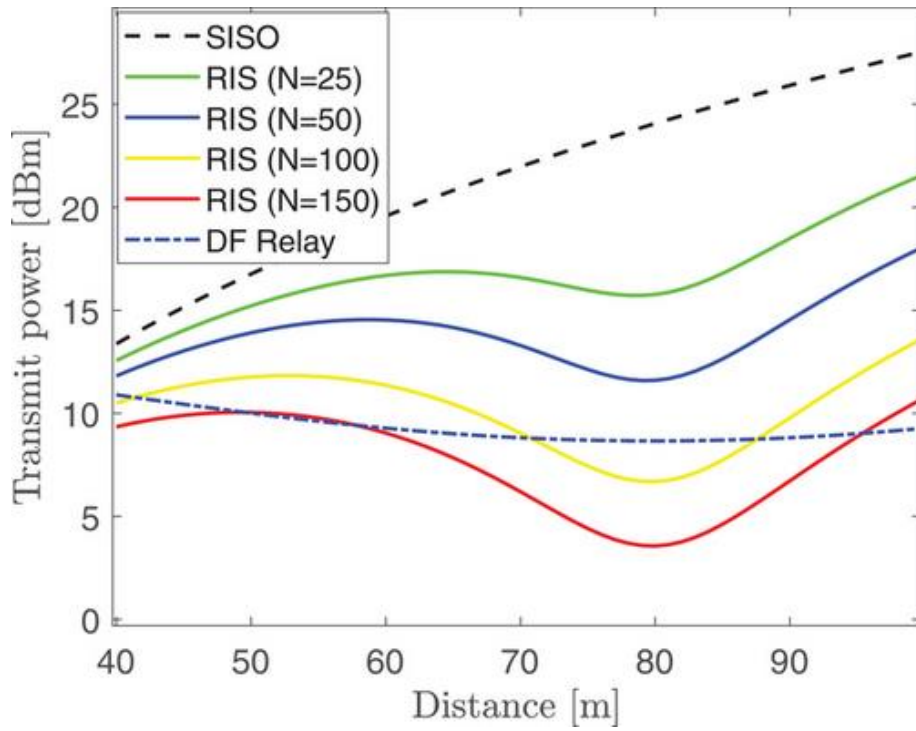
Το σχήμα 9α δείχνει ένα τυπικό μοντέλο ενός συστήματος ασύρματης επικοινωνίας που υποστηρίζεται από το RIS. Ο ελεγκτής RIS χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του ανακλαστήρα RIS. Επιπλέον, ο ελεγκτής επικοινωνεί με το BS μέσω άλλου ασύρματου σήματος, έτσι ώστε το BS ελέγχει την ανάκλαση RIS δημιουργώντας μια μήτρα μετατόπισης φάσης θ που παράγεται με την τροποποίηση ενός μεγάλου αριθμού φθηνών παθητικών ανακλαστικών στοιχείων για να διαμορφώσει το κανάλι, με αποτέλεσμα να εισάγονται ανακλάσεις σήματος στην παθητική εννοιολογική μελέτη.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 9δ, ο επαναλήπτης AF απλώς ενισχύει το λαμβανόμενο σήμα ραδιοσυχνότητας (συμπεριλαμβανομένου του θορύβου) και το στέλνει στον ουδέτερο χρήστη εισάγοντας τον συντελεστή καναλιού απολαβής β . Οι επαναλήπτες χρησιμοποιούνται συνήθως σε μέρη όπου η κάλυψη του σήματος είναι ένα πρόβλημα και για να επεκταθεί η κάλυψη της κυψέλης, ωστόσο, έχει ένα μειονέκτημα ότι ενισχύει επίσης τον θόρυβο, ο οποίος με την επιστροφή θα υποβαθμίσει το λαμβανόμενο σήμα προς την αναλογία παρεμβολών και θορύβου. Οι επαναλήπτες λειτουργούν σε λειτουργία AF, ενώ τα ρελέ λειτουργούν σε λειτουργία DF. Σε σύγκριση με τους επαναλήπτες AF, τα ρελέ DF, σύμφωνα με το Σχήμα 9c, μπορούν να παρέχουν ανώτερη τιμή θορύβου και καταστολή παρεμβολών μεταξύ των κυψελών.

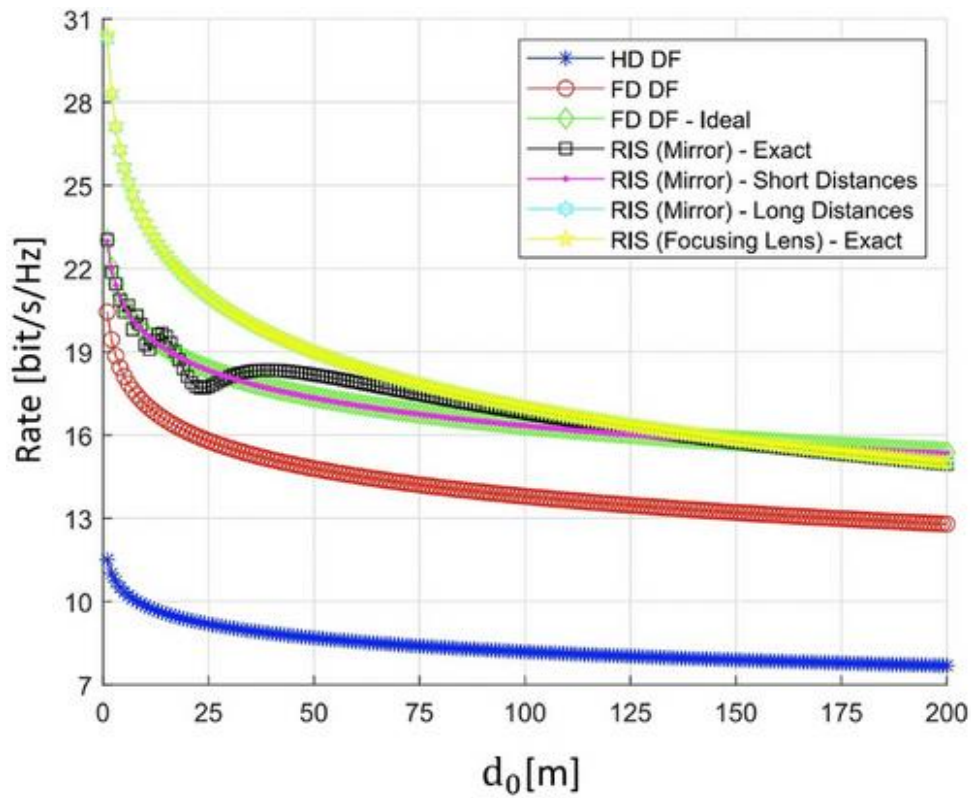
Η σύνδεση DF με ρελέ, αντίθετα, απαιτεί πομποδέκτες και αυξάνει την καθυστέρηση μετάδοσης. Στις επικοινωνίες με υποβοήθηση RIS και με υποβοηθούμενη από αναμετάδοση AF/DF, ο δέκτης αποκωδικοποιεί τα σύμβολα πληροφοριών πηγής, αλλά στις ασύρματες επικοινωνίες οπισθοσκέδασης, προσπαθεί να αποκωδικοποιήσει το σήμα παρεμβολής με piggyback τα σύμβολα πληροφοριών από ένα ισχυρό σήμα. Σύμφωνα με το Σχήμα 9β, η οπισθοσκέδαση αντανακλά το εισερχόμενο σήμα RF ενώ το τροποποιεί και το διαμορφώνει για δευτερεύουσα μετάδοση ή οπισθοσκέδαση. Δεν υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης και συντήρησης ξεχωριστής πηγής ραδιοσυχνοτήτων, καθώς χρησιμοποιούνται υπάρχουσες πηγές ραδιοσυχνοτήτων, εξοικονομώντας κόστος και ενέργεια. Η αναντιστοιχία σύνθετης αντίστασης είναι η βασική ιδέα πίσω από την εναλλαγή σήματος RF και τις ανακλάσεις [56]. Χρησιμοποιεί την αντίσταση της κεραίας για την κωδικοποίηση δεδομένων στο προηγούμενο κύμα, αλλά έχει χαμηλό ρυθμό δεδομένων και στερείται ασφάλειας δεδομένων. Τεράστια οπισθοσκέδαση επικοινωνίας [57] είναι μια νέα ιδέα που χρησιμοποιεί μια προγραμματιζόμενη μεταεπιφάνεια για να αλλάξει το περιβάλλον διάδοσης των αδέσποτων κυμάτων περιβάλλοντος. Το τεράστιο διάφραγμα της metasurface και οι πολλοί βαθμοί ελευθερίας επιτρέπουν εξαιρετικό έλεγχο σήματος με αποτέλεσμα, ασφαλή και υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Η προτεινόμενη στρατηγική ασύρματης επικοινωνίας οπισθοσκέδασης στην οποία ο πομπός εξαρτάται από μια προγραμματιζόμενη μεταεπιφάνεια για τη διαμόρφωση του περιβάλλοντος διάδοσης και όχι από μία ή μερικές διπολικές κεραίες με διαμόρφωση αντίστασης ανοίγουν την πόρτα για σημαντικά μεγαλύτερο έλεγχο του κύματος. Το πιο ενδιαφέρον είναι ότι η επικοινωνία με οπισθοσκέδαση περιβάλλοντος (AmBC) σχεδιάστηκε για να λύσει

προβλήματα επικοινωνίας και κατανάλωσης ενέργειας σε τεχνολογίες IoT εσωτερικού χώρου και περιορισμένης ισχύος. Οι συγγραφείς στο [58] παρουσιάζουν μια νέα προσέγγιση επικοινωνίας οπισθοσκέδασης περιβάλλοντος στον τομέα συχνοτήτων χρησιμοποιώντας υποφορείς περιβάλλοντος OFDM σε συνδυασμό με το RIS. Η υψηλότερη απόδοση όσον αφορά το BER και το ρυθμό δεδομένων αποδεικνύεται από αναλυτικές και αριθμητικές αναλύσεις.

Η σύγκριση μεταξύ του RIS και των υποβοηθούμενων δικτύων αναμετάδοσης έχει μελετηθεί στη βιβλιογραφία της εργασίας μας. Η μετάδοση ισχύος που απαιτείται για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου ρυθμού έχει μελετηθεί στο [53, 59] ενώ πραγματοποιήθηκε μια συγκριτική μελέτη ανάμεσα του RIS και του ρελέ DF. Σύμφωνα με σχήμα 10 η ισχύς μετάδοσης που απαιτείται στην περίπτωση RIS μειώνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων και η απόσταση από το σενάριο αναμετάδοσης DF είναι μικρότερη όταν ο δέκτης βρίσκεται είτε κοντά στον πομπό είτε στο RIS. Όταν η απόσταση είναι 80 (Mtrs), το RIS πρέπει να έχει περίπου ή λιγότερα από 100 στοιχεία για να ξεπερνά την απόδοση της αναμετάδοσης DF, αποδεικνύοντας τη σημασία της τεχνολογίας RIS στις μελλοντικές ασύρματες γενιές. Ο ρυθμός δεδομένων του RIS και του ρελέ συγκρίνονται ως συνάρτηση της απόστασης στο Σχήμα 11 [59]. Το RIS, για παράδειγμα, έχει ρυθμιστεί να λειτουργεί ως ρυθμιστικός φακός καθώς και ως ακανόνιστος ανακλαστήρας. Το διάγραμμα δείχνει ότι ένα RIS μπορεί να επιτύχει ρυθμό συγκρίσιμο με αυτόν ενός ιδανικού ρελέ FD χωρίς τη χρήση ενισχυτή ισχύος. Αυτό είναι δυνατό λόγω του μεγέθους ενεργού μήκους του RIS. Για αποστάσεις έως 25-50 (Mtrs), το υπό ανάλυση RIS λειτουργεί ως ανώμαλο κάτοπτρο και για αποστάσεις μεγαλύτερες από 75-100 (Mtrs), συμπεριφέρεται ως διάχυτος σκεδαστής. Το Σχήμα 11 δείχνει περαιτέρω ότι σε μεγάλα μήκη μετάδοσης, περισσότερα από 150 (Mtrs) στη μελέτη περίπτωσης, ένα ιδανικό ρελέ FD κερδίζει ένα RIS. Για να έχει καλύτερη απόδοση από ένα τέλειο ρελέ FD σε εκτεταμένες αποστάσεις μετάδοσης, μπορεί να απαιτείται μεγαλύτερο RIS.



ΕΙΚΟΝΑ 10. Η ισχύς εκπομπής για την επίτευξη του ρυθμού 6 bit/s/Hz [53]



ΕΙΚΟΝΑ 11. Ρυθμοί δεδομένων RIS και αναμετάδοσης σε σχέση με την απόσταση [59]

3.1.2 Μετρήσιμη μετρική απόδοση των RIS: Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας

Οι συγγραφείς στο [60], με τη βοήθεια των RIS, έχουν προτείνει νέα μοντέλα για συστήματα MIMO. Το σχήμα των Bell Labs Layered Space Time ονομάζεται VBLAST και παρουσιάζεται επίσης και το σχήμα Alamouti. Και οι δύο στρατηγικές έχουν επιδείξει αυξημένη απόδοση όσον αφορά το BER και δεν απαιτούν σημαντικές αλλαγές στα υπάρχοντα μοντέλα MIMO, ειδικά στη σχεδίαση του δέκτη, γεγονός που τις καθιστά βιώσιμες και πρακτικές επιλογές για μελλοντικές επικοινωνίες. Ωστόσο, οι συγγραφείς απέτυχαν να εξετάσουν μια μετατόπιση φάσης που να ισχύει για όλα τα σχήματα, η οποία εξηγεί τις διαφορετικές διαφορές πλάτους που εμφανίζονται στη φάση.

Οι συγγραφείς στο [61] άντλησαν την ακριβή πιθανότητα ότι ένα τυχαία εντοπισμένο RIS θα έχει τον ίδιο πομποδέκτη με έναν συγκεκριμένο πομποδέκτη χρησιμοποιώντας γενικούς κανόνες ανάκλασης. Τα αναλυτικά αποτελέσματα δείχνουν ότι το μήκος ενός τυχαία τοποθετημένου ανακλαστήρα δεν έχει καμία επίδραση στην ανάκλαση του. Αυτή η προσέγγιση, ωστόσο, συνεπάγεται ότι όλα τα RIS έχουν το ίδιο μήκος, το οποίο δεν αντικατοπτρίζει την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Επιπλέον, οι συγγραφείς επικεντρώνονται μόνο στην πιθανότητα αντανάκλασης, χωρίς αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο το μεγάλης κλίμακας RIS μπορεί να αυξήσει την απόδοση μετάδοσης.

Οι ερευνητές στο [62-66] έχουν μελετήσει την πιθανότητα διακοπής λειτουργίας ασύρματων συστημάτων υποβοηθούμενων από RIS. Ο πρώτος συγγραφέας πρότεινε ότι το RIS θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της πιθανότητας οπτικής επαφής σε ρυθμίσεις mmWave εσωτερικού χώρου. Οι συγγραφείς εξάγουν έναν τύπο για την πιθανότητα διακοπής λειτουργίας και στη συνέχεια βελτιστοποιούν τη θέση ανάπτυξης του RIS για να μειώσουν περαιτέρω την πιθανότητα διακοπής, ενώ ο δεύτερος συγγραφέας αναφέρει ότι για στοιχεία που δεν είναι LoS, η απόδοση διακοπής υπολογίζεται πρώτα και έπειτα βελτιστοποιείται σε αργή αποσύνθεση σκηνής. Όταν το στοιχείο LoS είναι μεγαλύτερο από το στοιχείο non-LoS, η βέλτιστη πιθανότητα υποκλοπής μειώνεται με το μέγεθος του RIS. Στη συνέχεια, οι συγγραφείς περιγράφουν μια ασυμπτωτικά ιδανική πιθανότητα διακοπής στη ζώνη υψηλής SNR, δείχνοντας ότι μειώνεται με την αύξηση της ισχύος του στοιχείου LoS.

Σε αντίθεση με τους αναλυτές στο [62], που εξετάζουν τις επικοινωνίες mmWave από σημείο σε σημείο, οι συγγραφείς στο [64] θεωρούν ένα γενικευμένο κυψελοειδές δίκτυο κατερχόμενης ζεύξης mmWave με τυχαία εμπόδια και ανακλαστήρες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η κάλυψη των χιλιοστομετρικών κυμάτων βελτιώνεται σημαντικά μόνο όταν τοποθετούνται ανακλαστήρες υψηλής πυκνότητας, ενώ σε δίκτυα χαμηλής πυκνότητας το ανακλώμενο σήμα πρέπει να διανύσει μεγαλύτερες αποστάσεις από το άμεσο σήμα και η πιθανότητα κάλυψης δεν διαφέρει από εκείνη των σημάτων μπλοκ. Ένας περιορισμός αυτής της εργασίας είναι ότι οι συγγραφείς δεν εξέτασαν τη βέλτιστη τοποθέτηση των ανακλαστήρων, οπότε δεν μπορεί να αναμένεται η κάλυψη της απόδοσης του δικτύου.

Η απόδοση της πιθανότητας διακοπής λειτουργίας σε δίκτυα επικοινωνίας οχημάτων που υποστηρίζονται από RIS εξετάζεται στο [66]. Μια έκφραση για την πιθανότητα διακοπής λειτουργίας προκύπτει χρησιμοποιώντας το ανάπτυγμα σειράς και το κεντρικό οριακό θεώρημα. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι ΠΣΔ μπορούν να μειώσουν σημαντικά την πιθανότητα διακοπής της κυκλοφορίας των οχημάτων στην περιοχή τους. Ωστόσο, οι συγγραφείς στο [65] διερεύνησαν την πιθανότητα διακοπής ενός ευφυούς συστήματος πλήρης αμφίδρομης επικοινωνίας διπλής κατεύθυνσης με βάση την ανακλαστική επιφάνεια και χαρακτήρισαν την απόδοσή του στην αντιμετώπιση της απώλειας δεδομένων μετάδοσης λόγω εκτεταμένης βαθιάς εξασθένησης. Οι συγγραφείς υπολόγισαν την κατανομή πιθανότητας του διαδοχικού ισοδύναμου καναλιού από άκρο σε άκρο χρησιμοποιώντας έναν διαμορφωτή δέσμης RIS της επιλογής του. Ο αριθμός των στοιχείων που παρουσιάζουν ανάκλαση έχει σημαντική επίδραση στην αξιοπιστία του συστήματος, σύμφωνα με τους δύο συγγραφείς [65, 66]. Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην μελέτη τους είναι πως η ανάλυση παρουσιάστηκε με την υπόθεση συνεχούς πλάτους και μετατοπίσεων φάσης.

Για τον υπολογισμό του BER για συστήματα που υποβοηθούνται από LIS, οι συγγραφείς στο [67] πρότειναν μια εξίσωση κατά προσέγγιση και άνω ορίου. Υπό την επίδραση του καναλιού εξασθένησης Nakagami, οι συγγραφείς εξετάζουν τη διαμόρφωση BPSK και M-QAM. Για αριθμούς στοιχείων $N < 4$, οι συγγραφείς εξήγαγαν την ακριβή κατανομή των συντελεστών καναλιού και χρησιμοποίησαν μια Gaussian προσέγγιση για τις συνιστώσες εντός φάσης και τετραγωνισμού, καθώς για μεγάλες τιμές του N ο ακριβής υπολογισμός γίνεται πολύ περίπλοκος. Ωστόσο, η

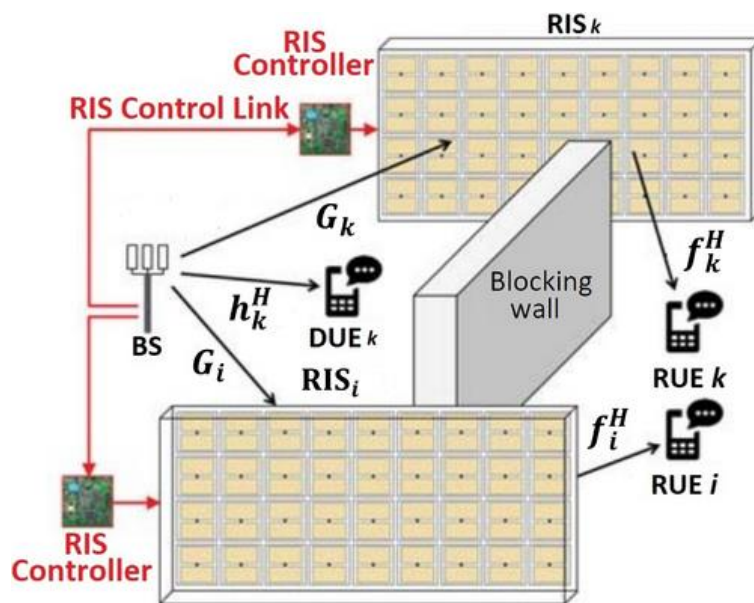
ακριβής παραγωγή του BER είναι μόνο για δύο και τρία στοιχεία και η κατάσταση γίνεται πιο περίπλοκη όταν ο αριθμός των στοιχείων είναι τεράστιος.

Σε αντίθεση με τους συγγραφείς στο [67], οι ερευνητές στο [68] κατασκεύασαν ένα μεγάλο μαθηματικό μοντέλο με εκατό στοιχεία, το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε προσομοιώσεις για τον προσδιορισμό της κατανομής του λαμβανόμενου SNR και τον υπολογισμό του SEP. Από την άλλη πλευρά, μια ακριβής ανάλυση BER ενός συστήματος NOMA δύο χρηστών με QAM έχει συζητηθεί στη βιβλιογραφία από μεμονωμένους συγγραφείς [69]. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες εργασίες, δεν υπάρχει περιορισμός στη σειρά παραγωγής των συμβόλων QAM για κάθε χρήστη. Στα κανάλια εξασθένησης Raleigh, αναπτύσσονται τύποι κλειστής μορφής για το BER του δέκτη διαδοχικής ακύρωσης παρεμβολών (SIC). Η απόδοση BER ενός συστήματος κατερχόμενης ζεύξης NOMA με τη βοήθεια RIS προκύπτει σε κλειστή μορφή στο [70].

Στο [72], οι ερευνητές εξετάζουν ένα επαναδιαμορφώσιμο ευφυές ασύρματο σύστημα με και χωρίς άμεση σύνδεση μεταξύ του AP και του χρήστη, χρησιμοποιώντας έναν πεπερασμένο αριθμό στοιχείων RIS. Οι συγγραφείς δίνουν μια μελέτη BER και μέσου επιτεύξιμου ρυθμού (AAR) συστημάτων που βασίζονται σε RIS, υποθέτοντας τη μέγιστη λαμβανόμενη ισχύ. Οι συγγραφείς κατασκευάζουν μια προσέγγιση BER κλειστής μορφής που επιτρέπει την πρόβλεψη ασυμπτωτικής διακύμανσης απόδοσης καθώς αυξάνονται τα στοιχεία SNR και RIS. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν πιο ακριβή BER από προηγούμενες μελέτες [68]. Ωστόσο, η απόδοση των ασύρματων επικοινωνιών με τη βοήθεια RIS μέσω καναλιών εξασθένησης Rician συζητείται στο [73]. Για πολλές μετρήσεις απόδοσης, όπως η πιθανότητα διακοπής λειτουργίας, ο μέσος όρος SEP και η χωρητικότητα καναλιού, οι συγγραφείς κατασκευάζουν νέες ακριβείς προσεγγίσεις κλειστής μορφής. Παρέχονται, επίσης, ασυμπτωτικές εξισώσεις για την πιθανότητα διακοπής σε υψηλά επίπεδα SNR, καθώς και τυποποιήσεις κλειστής μορφής για τη σειρά διαφοροποίησης του συστήματος και κέρδος κωδικοποίησης για να δώσουν μια καλύτερη εξήγηση της συμπεριφοράς του συστήματος. Η ανάλυση απόδοσης στις προηγούμενες εργασίες δεν εξέτασε πρακτικές υλοποιήσεις όπως το ατελές CSI.

Η ασυμπτωτική βελτιστοποίηση της βέλτιστης ταχύτητας σε συστήματα RIS καθοδικής ζεύξης μελετήθηκε στο [71] σε ένα πραγματικό περιβάλλον RIS με όλους τους περιορισμούς. Κάτω από πρακτικούς συντελεστές ανάκλασης, προτείνεται ένας

παθητικός διαμορφωτής δέσμης που μπορεί να επιτύχει ασυμπτωτικά βέλτιστη απόδοση χειριζόμενος τις ιδιότητες του προσπίπτοντος κύματος. Για να βελτιωθεί το εφικτό άθροισμα του συστήματος, παρέχεται ένας μηχανισμός διαμόρφωσης που μπορεί να εφαρμοστεί στο RIS χωρίς αλληλεπίδραση με τον τρέχοντα χρήστη και προσδιορίζεται ασυμπτωτικά ο μέσος ρυθμός σφάλματος συμβόλου. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι, με παρουσία πολλαπλών αναφορών RIS, η προτεινόμενη μέθοδος βρίσκεται σε στενή συμφωνία με τα ανώτερα όριά της. Μια προφανής ανησυχία σχετικά με αυτήν την εργασία, είναι ότι ένα RIS δεν μπορεί να ευθυγραμμιστεί, με συνέπεια με όλους τους χρήστες που είναι συνδεδεμένοι στο BS μέσω του RIS (που ονομάζονται χρήστες RUE σύμφωνα με την Εικόνα 12) Ταυτόχρονα τα προβλεπόμενα κανάλια των RUE, τα οποία περιορίζουν την απόδοση του συστήματος εκτός από τις εξαιρετικά πυκνές μεμονωμένες επιφάνειες RIS που απαιτούνται για κάθε χρήστη.



ΕΙΚΟΝΑ 12. Μοντέλο συστήματος για MISO που βασίζεται σε RIS [71]

Στα συστήματα mmWave MIMO που υποστηρίζονται από RIS, οι συγγραφείς στο [74] όρισαν την ιδανική μετατόπιση φάσης του RIS με βάση την περιορισμένη ανάδραση των χρηστών κινητών για να περιγράψουν τον πιθανό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από το BS στους χρήστες. Εκτός από τη βελτίωση της απόδοσης δεδομένων, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι με την ανάπτυξη RIS με τέλειο CSI, τα όρια σφαλμάτων θέσης και προσανατολισμού μπορούν να μειωθούν, ενώ οι συγγραφείς στο [75] δείχνουν πώς να χρησιμοποιήσετε και να βελτιστοποιήσετε το RIS

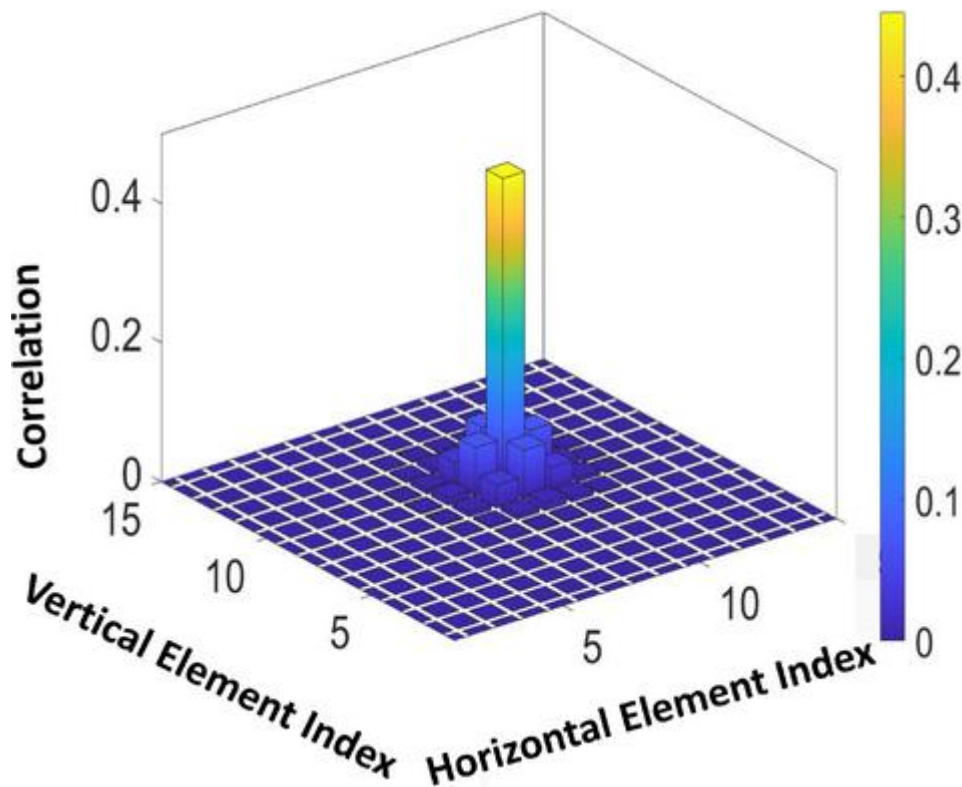
με αποτέλεσμα σημαντική βελτίωση της κατάταξης του πίνακα καναλιών. Δεδομένου ότι η προηγούμενη εργασία χρησιμοποιούσε ένα τέλειο RIS με άπειρη ανάλυση φάσης, οι προκύπτουσες χωρητικές μελέτες είχαν μια αβέβαιη αναντιστοιχία με το πραγματικό σύστημα. Οι συγγραφείς στο [76] παράγουν προσεγγίσεις των εφικτών ρυθμών δεδομένων και συζητούν την υποβάθμιση της απόδοσης όταν εφαρμόζεται ένα πρακτικό RIS με περιορισμένες μετατοπίσεις φάσης.

Οι ερευνητές στο [77] διερευνούν την επιτεύξιμη μείωση του ρυθμού με τη χρήση μιας βασικής αρχιτεκτονικής δέκτη και συζητούν τον συσχετισμένο σχεδιασμό των σφαλμάτων εξοπλισμού ως συνάρτηση της απόστασης μεταξύ των ανακλαστικών στοιχείων.

Οι συγγραφείς στο [78] καθόρισαν τη χωρική απόδοση ενός συστήματος πολλαπλών χρηστών μίας κυψέλης που υποστηρίζεται από πολυάριθμα RIS που τοποθετούνται τυχαία στην κυψέλη, σε αντίθεση με προηγούμενες εργασίες που επικεντρώνονται στη βελτιστοποίηση απόδοσης σε επίπεδο σύνδεσης για ασύρματες εφαρμογές που υποστηρίζονται από RIS. Όταν ο αριθμός των RIS υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή, η προσομοίωση δείχνει ότι η ανάλυση είναι σωστή και το βοηθητικό σύστημα RIS υπερέχει από το αντίστοιχο πλήρες αμφίδρομο βοηθητικό σύστημα ρελέ ως προς τη χωρική απόδοση. Επιπλέον, δείχνει ότι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται εναλλακτικές διαδικασίες ανάπτυξης για RIS και ενεργούς ηλεκτρονόμους για να μεγιστοποιηθεί η αντίστοιχη απόδοσή τους. Διαπιστώθηκε ότι όταν αναπτύσσονται λιγότερα RIS (το καθένα με περισσότερα ανακλαστικά στοιχεία), η χωρική απόδοση του συστήματος αυξάνεται, αλλά σε βάρος ενός μεγαλύτερου χωρικά μεταβαλλόμενου ρυθμού χρήστη, όπως αναφέρεται στο [79]. Όταν οι συγγραφείς ανέπτυξαν μόνο ένα RIS που αποτελείται από 4096 στοιχεία για να βελτιώσουν την επικοινωνία 50 χρηστών που κατανέμονται τυχαία σε ένα δωμάτιο 13 (Mtrs)×14 (Mtrs) και 16,5 (Mtrs) μακριά από τον ρυθμό δεδομένων RIS.

Στο [77] διερευνήθηκαν οι αστοχίες υλικού και η επίδρασή τους στον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, ενώ στο [79] αναλύθηκε η επίδραση της αμοιβαίας σύζευξης μεταξύ γειτονικών ανακλαστικών στοιχείων στον επιτεύξιμο ρυθμό δεδομένων ανά χρήστη σε ένα μοντέλο συστήματος και η αμοιβαία σύζευξη ανά στοιχείο RIS απεικονίστηκε στατιστικά σύμφωνα με το σχήμα 13. Επομένως, η μελέτη παραμέτρων όπως οι αστοχίες υλικού, η αμοιβαία σύζευξη και οι διακριτές μετατοπίσεις φάσης σε

RIS που υποστηρίζονται από ασύρματη επικοινωνία αναμένεται να δημιουργήσει μια νέα εποχή τεκμηριωμένης έρευνας στον τομέα της επικοινωνίας, η οποία όχι μόνο θα βελτιώσει την απόδοση του συστήματος γενικά, αλλά θα οδηγήσει τελικά σε αξιόπιστη τεχνολογία. Αυτό είναι δυνατόν να γίνει στο απότερο μέλλον.

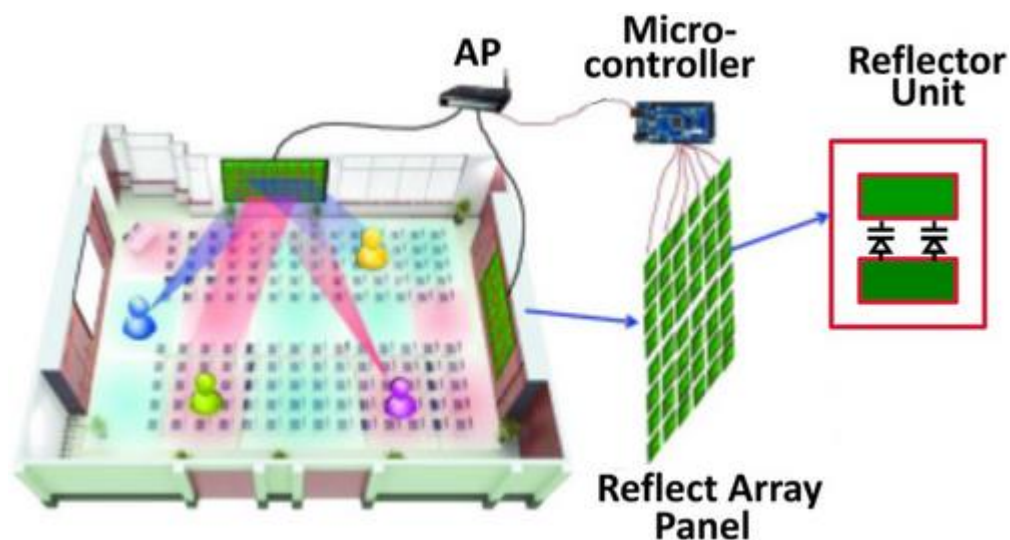


ΕΙΚΟΝΑ 13. Η πραγματική χωρητικότητα του στοιχείου RIS στη σειρά 10 και στη στήλη 10 συσχετίζεται με τις προβλεπόμενες χωρητικότητες του ίδιου και των γειτονικών στοιχείων

Η ανάπτυξη του RIS στο [79] ήταν κοντά στον εξοπλισμό χρήστη, ωστόσο, οι συγγραφείς στο [80] μελέτησαν τις κατανομημένες και κεντρικές αναπτύξεις του RIS στο ασύρματο δίκτυο. Σύμφωνα βέβαια με την τοπολογία συμμετρικών καναλιών, έχει αποδειχθεί πως η διάσπαρτη ανάπτυξη παρουσιάζει μικρότερες τιμές από η κεντρική ανάπτυξη για όσον αφορά τους επιτεύξιμους ρυθμούς χρηστών. Ωστόσο, οι συγγραφείς στο [81] ανέλυσαν και συνέκριναν δύο ενδιαφέροντα σενάρια σε ένα σύστημα SISO, και πιο συγκεκριμένα έναν πεπερασμένο αριθμό μεγάλων RIS και πολλά RIS πεπερασμένου μεγέθους, για να δείξει ποια τεχνική υλοποίησης είναι πιο ευνοϊκή. Χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του ντετερμινιστικού ισοδύναμου (DE), υπολογίζονται πιθανότητες κάλυψης σε κλειστή μορφή και για τις δύο περιπτώσεις με

βάση τα στατιστικά στοιχεία CSI. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ιδανική πιθανότητα κάλυψης. Τα αριθμητικά αποτελέσματα αποκαλύπτουν, μεταξύ άλλων, ότι η προσθήκη περισσότερων επιφανειών υπερτερεί της στρατηγικής σχεδιασμού της προσθήκης περισσότερων στοιχείων ανά επιφάνεια.

Σε αντίθεση με τα πρώτα έργα, το [26] παρουσιάζει μια συλλογική αναλυτική και εμπειρική διερεύνηση για να παρουσιάσει μια νέα λύση διαμοιρασμού φάσματος για εσωτερικές καταστάσεις που βασίζεται στη χρήση μιας αναδιαμορφώσιμης συστοιχίας ανακλαστήρων στο ασύρματο κανάλι. Η βέλτιστη διαχείριση της μετατόπισης φάσης κάθε στοιχείου της συστοιχίας ανακλαστήρων βελτιώνει το σχετικό σήμα κάθε ζεύγους πομπών και καταστέλλει τις παρεμβολές. Ως αποτέλεσμα, πολλαπλοί ασύρματοι χρήστες στον ίδιο χώρο μπορούν να έχουν ταυτόχρονη πρόσβαση στην ίδια ζώνη συχνοτήτων χωρίς παρεμβολές μεταξύ τους. Ως αποτέλεσμα, η χωρητικότητα του δικτύου μπορεί να αυξηθεί σημαντικά. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 14, τα πάνελ συστοιχίας έξυπνων ανακλαστήρων αναρτώνται στον τοίχο σε εσωτερικό χώρο. Η συστοιχία ανακλαστήρων δεν αποθηκεύει ή επεξεργάζεται το λαμβανόμενο σήμα, αλλά μπορεί να αλλάξει τη φάση του ανακλώμενου ράδιο-σήματος.



ΕΙΚΟΝΑ 14. Κοινή χρήση φάσματος με χρήση συστοιχίας ανακλαστικών [26]

Οι συγγραφείς στο [82] μελέτησαν τον ρυθμό ανερχόμενης ζεύξης παρουσία περιορισμών όπως ελαττώματα υλικού, ανακριβής εκτίμηση καναλιών και παρεμβολές που προκαλούνται από τη χωρική συσχέτιση της εξασθένησης του Ρίκιου για τη συγκεκριμένη συσκευή. Οι συγγραφείς έχουν αποδείξει ότι οι μελέτες μπορούν να

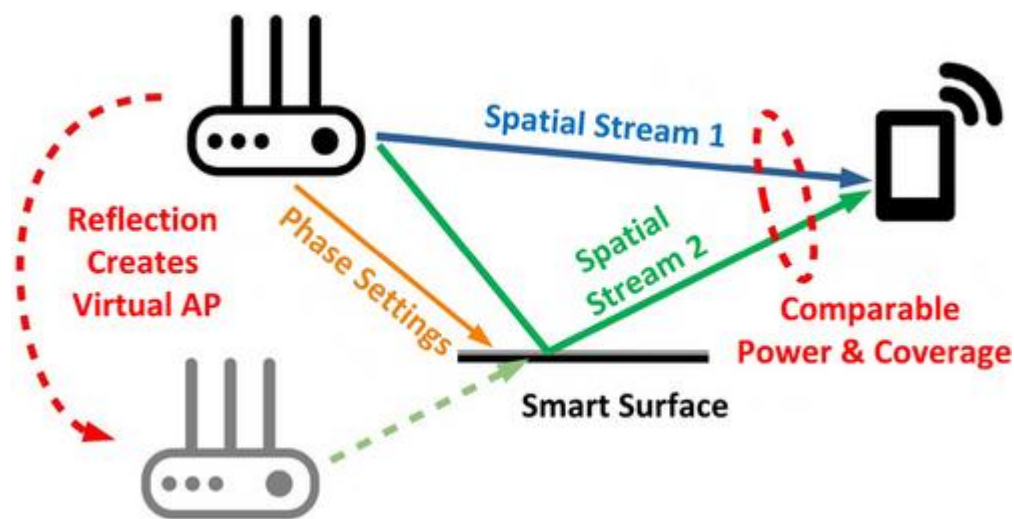
προβλέψουν αξιόπιστα την απόδοση μιας επιφάνειας LIS χωρίς τη χρήση μεγάλων προσομοιώσεων. Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι σε ένα σύστημα που βασίζεται σε LIS, εμφανίζεται μια σκλήρυνση καναλιού και οι συγγραφείς βρήκαν επίσης το ασυμπτωτικό όριο για τον ρυθμό δεδομένων ανερχόμενης ζεύξης και απέδειξαν ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων, βλάβες υλικού, θόρυβος και παρεμβολές λόγω των σφαλμάτων εκτίμησης καναλιού και η διαδρομή NLoS γίνονται ασήμαντα. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι σε σύγκριση με τη συμβατική μαζική MIMO, η μεγάλης κλίμακας RIS μπορεί να επιτύχει υψηλότερη αξιοπιστία όσον αφορά την προσδοκία χωρητικότητας και τη διασπορά. Ωστόσο, ο μεγάλος αριθμός στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις-χιλιάδες(10000)-επιβεβαιώνει τις ανησυχίες σχετικά με τις πρακτικές προβλέψεις των μοτίβων αμοιβαίας σύζευξης και μετατόπισης φάσης μεταξύ γειτονικών στοιχείων. Στα συστήματα LIS, οι συγγραφείς στο [83] περιέγραψαν την επίδραση της ικανότητας βλάβης υλικού (HWI) στο LIS. Οι συγγραφείς ανέπτυξαν ένα γενικό μοντέλο HWI με βάση την απόσταση μεταξύ του σημείου LIS και του κέντρου του και χρησιμοποίησαν αυτό το μοντέλο ως σημείο αναφοράς στο σχεδιασμό υλικού. Για να περιοριστούν οι αρνητικές επιπτώσεις των ελλείψεων υλικού, τα αποτελέσματα της ανάλυσης και της προσομοίωσης προτείνουν τη διαίρεση ενός RIS μεγάλης κλίμακας σε μια διαδοχή μικρότερων μονάδων RIS.

Παρόμοια με το [83], οι συγγραφείς στο [84] όχι μόνο διερεύνησαν την επίδραση της παρεμβολής υλικού πομποδέκτη (T-HWI) και της αναδιαμορφώσιμης ευφυούς επιφάνειας αστοχίας υλικού (RIS-HWI) σε ένα γενικό σύστημα MU-MISO με υποβοήθηση RIS με ατελή CSI και συσχετισμένη εξασθένιση Rayleigh, αλλά πρότειναν επίσης μια υπολογιστικά ανέξοδη μέθοδο βελτιστοποίησης για τον ανακλώμενο πίνακα διαμόρφωσης δέσμης (RBM), η οποία βρέθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη σε συστήματα με υποβοήθηση RIS με μεγάλο αριθμό στοιχείων. Ως αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται μια γραμμική εκτίμηση MMSE του καναλιού με χρήση T-HWI και RIS-HWI. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας μόνο δεδομένα μεγάλης κλίμακας, υπολογίζεται σε κλειστή μορφή το άθροισμα του MRC και του εφαρμοστέου SE και επιτυγχάνεται μια υπολογιστικά αποδοτική βελτιστοποίηση για το RIS RBM.

Σε αντίθεση με άλλες μελέτες προσανατολισμένες στη χωρητικότητα, η εργασία στο [85] εξετάζει τη σκοπιμότητα της χρήσης ενός RIS με μεγάλο αριθμό κατανεμημένων στοιχείων για τερματικές θέσεις. Ο συγγραφέας περιγράφει λεπτομερώς τις επιπτώσεις

μιας ανάπτυξης με ένα μόνο κεντρικό ΣΕΕ και πολλά μικρότερα καταναμημένα ΣΕΕ που περιορίζονται στην ίδια συνολική περιοχή: Η διάσπαση του LIS σε 16 μικρά LIS παρέχει μικρά οφέλη, αλλά αυξάνει επίσης την επιβάρυνση για τη συνεργασία των διαφόρων μικρών LIS. Τέλος, το LIS χωρίζεται σε 16 μικρά LIS.

Το Scatter-MIMO είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιεί έξυπνες επιφάνειες για την αύξηση της περιβαλλοντικής σκέδασης και την παροχή κερδών χωρικής πολυπλεξίας MIMO[11]. Οι έξυπνες επιφάνειες συνδέονται με μια ασύρματη συσκευή εκπομπής, όπως το ενεργό AP, και εκπέμπουν εκ νέου την ίδια ποσότητα ισχύος με το ενεργό AP, δημιουργώντας έτσι ένα εικονικό παθητικό AP, όπως φαίνεται στο Σχήμα 15. Με τη χρήση ενός εικονικού παθητικού AP, το Scatter-MIMO εξαλείφει τις απαιτήσεις συγχρονισμού, παρεμβολών και ισχύος των συμβατικών συστημάτων Scatter-MIMO, επιτρέποντας στις έξυπνες επιφάνειες να παρέχουν κέρδος χωρικής πολυπλεξίας με χαμηλό κόστος. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι το Scatter-MIMO έχει μέσο κέρδος ρυθμαπόδοσης μόνο 2 σε σύγκριση με τα ενεργά AP.



ΕΙΚΟΝΑ 15. Το Scatter MIMO δημιουργεί εικονικό AP για ροές MIMO μέσω της ανάκλασης μετατόπισης φάσης και του αλγόριθμου βελτιστοποίησής του [11].

Από τις προαναφερθείσες αναφορές και τις διαφορετικές απεικονίσεις, θα θέλαμε να αναφέρουμε ότι τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας με τη βοήθεια RIS μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανακλαστήρας, δέκτης και πομπός [13] τροποποιώντας τις μετατοπίσεις φάσης των μονάδων σκέδασης του RIS. Τα εξερχόμενα κύματα του RIS μπορούν να δημιουργήσουν διαφορετικά παραδείγματα ακτινοβολίας που μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα εάν αυτά τα μοτίβα μπορούν να αναγνωριστούν και να

διακριθούν στον δέκτη. Αυτή είναι η βασική σχεδιαστική ιδέα της χωρικής διαμόρφωσης, η οποία συνήθως υλοποιείται με τη χρήση προγραμματιζόμενων κεραιών [86,87]. Μοιάζει πολύ με την ασύρματη επικοινωνία οπισθοσκέδασης, η οποία χρησιμοποιεί διαμόρφωση φορτίου για τη ρύθμιση του συντελεστή ανάκλασης της κεραίας [88]. Είναι δύσκολο να επιτευχθούν υψηλοί ρυθμοί χρηστών SU σε συστήματα επικοινωνίας CR όταν υπάρχει μεγάλη αμοιβαία παρεμβολή με χρήστες PU [89]. Στην εργασία τους χρησιμοποιήθηκε η αναπτυγμένη ευφυή επιφάνεια. Συγκεκριμένα, οι συγγραφείς διερευνούν ένα σύστημα CR με υποστήριξη RIS που χρησιμοποιεί RIS για να βοηθήσει τον διαμοιρασμό συχνότητας μεταξύ της ζεύξης PU και του SU συνδυάζει την ισχύ εκπομπής του SU και το RIS για να βελτιστοποιήσει τον επιτεύξιμο λόγο SU για δεδομένο στόχο SINR της ζεύξης PU. Οι συγγραφείς χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο AO για την επίλυση του προβλήματος μεγιστοποίησης του λόγου SU με κοινό έλεγχο ισχύος εκπομπής και ανακλαστική διαμόρφωση δέσμης RIS. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι το CR με τη βοήθεια RIS είναι αποτελεσματικό για τη δευτερεύουσα μετάδοση ακόμη και σε δύσκολα σενάρια όπου ο δευτερεύων πομπός βρίσκεται αρκετά κοντά στον πρωτεύοντα χρήστη.

Η ανίχνευση ενέργειας με τη βοήθεια RIS μελετάται σε βάθος στο [90] για ανίχνευση φάσματος ενός χρήστη, συνεργατική ανίχνευση φάσματος και λήψη ποικιλομορφίας. Παρουσιάζεται μια ανάλυση επιδόσεων και μια ανάλυση της μέσης πιθανότητας ανίχνευσης και των ψευδών συναγερωμών για κάθε περίπτωση. Χρησιμοποιήθηκαν προσομοιώσεις Monte Carlo για την επικύρωση των αποτελεσμάτων ενώ πιστεύεται ότι η RIS μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση ανίχνευσης

Οι συγγραφείς στο [91] διερευνούν την έννοια της RIS στην επικοινωνία με τη βοήθεια UAV για την επέκταση της κάλυψης του δικτύου και τη βελτίωση της αξιοπιστίας της επικοινωνίας και της φασματικής απόδοσης των δικτύων IoT. Οι συγγραφείς δείχνουν επίσης ότι τα συστήματα επικοινωνίας UAV με τη βοήθεια RIS μπορούν να φτάσουν 10 φορές την επιτεύξιμη χωρητικότητα εργοδοτικών συμβατικών συστημάτων επικοινωνίας UAV. Ο αντίκτυπος των ελλিপών τοπολογικών πληροφοριών στη χωρητικότητα του συστήματος και στην ανάλυση BER των επικοινωνιών UAV που υποστηρίζονται από έξυπνη πτήση με ανακλαστική επιφάνεια έχει συζητηθεί στα [92,93], αλλά οι συγγραφείς στο [93] ασχολούνται μόνο με την περίπτωση ενός βήματος, ενώ οι συγγραφείς στο [92] εξετάζουν τα πολυεπίπεδα δίκτυα UAV

πολλαπλών βημάτων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν την ανάγκη για κατάλληλη εκτίμηση φάσης σε συστήματα που βασίζονται σε RIS, ειδικά σε αυτά με περιορισμένο αριθμό ανακλαστικών στοιχείων. Επιπλέον, αποκαλύπτουν επίσης τη σημασία του αριθμού των στοιχείων για αξιόπιστη απόδοση.

3.2. Τεχνικές και αλγόριθμοι βελτιστοποίησης

Η επίδραση των διαθέσιμων διαδρομών στο λαμβανόμενο σήμα καθορίζεται από το πόσο μεγάλη ή μικρή είναι η εξάπλωση της χρονικής καθυστέρησης που σχετίζεται με το LoS και άλλα στοιχεία μέσα σε μια διαδρομή σε σχέση με το εύρος ζώνης του ανεστραμμένου σήματος. Το LoS και άλλα στοιχεία είναι συνήθως μη επιλύσιμα εάν η εξάπλωση της καθυστέρησης του καναλιού είναι ελάχιστη και στενής ζώνης, οδηγώντας σε μοτίβα εξασθένησης. Εάν η διασπορά καθυστέρησης είναι μεγάλη, το LoS και όλα τα στοιχεία πολλαπλών διαδρομών μπορούν συνήθως να επιλυθούν με πολλά διακριτά στοιχεία, οδηγώντας σε ένα ευρυζωνικό μοντέλο εξασθένησης [5]. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 9, η μετατόπιση φάσης όλων των στοιχείων σκέδασης μπορεί να μεταβληθεί έξυπνα για τη συνεκτική ενσωμάτωση του ανακλώμενου σήματος και τη βελτίωση της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος στον προοριζόμενο δέκτη και τον καταστροφικό περιορισμό της παρεμβολής στον ανεπιθύμητο δέκτη, όπως υποστηρίζουν η πειραματική επίδειξη και οι μετρήσεις καναλιού στο [43] και ανοίγουν το δρόμο για περαιτέρω θεωρητικές μελέτες και βελτιστοποίηση του συστήματος. Στις επόμενες ενότητες εξετάζονται οι πιο συνηθισμένες διαμορφώσεις και λύσεις βελτιστοποίησης για ράδιο-συστήματα στενής και ευρείας ζώνης με δυνατότητα RIS για εφαρμογές ενός χρήστη και πολλαπλών χρηστών.

3.2.1 Τεχνικές παθητικής διαμόρφωσης δέσμης

Στην παρούσα ενότητα, εξετάζουμε τη βελτιστοποίηση της παθητικής ανάκλασης για ραδιοεπικοινωνία με τη βοήθεια RIS. Υποθέτουμε ότι γνωρίζουμε τα άμεσα και έμμεσα κανάλια, αλλά η εκτίμηση του καναλιού θα συζητηθεί στην ενότητα 4.

Υποθέτουμε ότι το πρόβλημα βελτιστοποίησης διαμόρφωσης δέσμης με άρθρωση είναι μη κυρτό, καθώς τόσο το Q όσο και το θ εξαρτώνται το ένα από το άλλο. Επιπλέον, σε αντίθεση με τους αναμεταδότες, τα στοιχεία RIS δεν ενισχύουν, αλλά αποκωδικοποιούν και μεταδίδουν το λαμβανόμενο σήμα, οπότε απαιτείται μέγεθος μονάδας. Η ανάγκη για μια μη βέλτιστη λύση βελτιστοποίησης του λόγου διέγερσης προκύπτει από τον μη κυρτό περιορισμό μονάδας μεγέθους στο προαναφερθέν πρόβλημα βελτιστοποίησης. Σε προηγούμενα έργα σε στενή ζώνη [94 - 107] και ευρεία ζώνη [108 - 113], τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας με τη βοήθεια RIS προσπαθούν να λύσουν το μη κυρτό πρόβλημα όπου η κύρια πρόκληση περιλαμβάνει τον περιορισμό του συντελεστή μονάδας. Στη βιβλιογραφία έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετές τεχνικές για την αντιμετώπιση αυτού του περιορισμού. Μερικές από αυτές τις τεχνικές είναι:

✓ Η μέθοδος εναλλασσόμενης βελτιστοποίησης:

Η περίφημη μέθοδος εναλλασσόμενης βελτιστοποίησης εξετάζεται εκτενώς στη βιβλιογραφία μας. Το στυλ μεθόδου εναλλαγής μεταξύ της ενεργητικής διαμόρφωσης δέσμης μετάδοσης και της παθητικής ανάκλασης δίνει ένα πλεονέκτημα στην αντιμετώπιση της ενεργητικής μορφοποίησης δέσμης μετάδοσης ως συμβατικό πρόβλημα όταν η παθητική διαμόρφωση δέσμης είναι σταθερή. Ωστόσο, κάτω από τη δεδομένη ενεργή διαμόρφωση δέσμης, η παθητική διαμόρφωση δέσμης εξακολουθεί να είναι μια μη τετριμμένη άσκηση για την αντιμετώπιση συμπεριλαμβανομένου του μοναδιαίου αρθρωτού περιορισμού σε κάθε στοιχείο του RIS. Υπάρχουν πιθανοί τρόποι που έχουν αποδειχθεί στη βιβλιογραφία για την αντιμετώπιση αυτού του περιορισμού. Για παράδειγμα, η μέθοδος SDR εφαρμόζεται για τη χαλάρωση του μη κυρτού περιορισμού κατάταξης ενός σε ένα τυπικό κυρτό ημικαθορισμένο πρόγραμμα (SDP). Το SDP χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την επίλυση του διαμορφωμένου προβλήματος μη κυρτού τετραγωνικά περιορισμένου τετραγωνικού προγράμματος (QCQP). Ωστόσο, το χαλαρό πρόβλημα μπορεί να μην οδηγεί σε λύση 1^{ης} τάξης, οπότε η αποσύνθεση των ιδιοτιμών πρέπει να ληφθεί με τη μέθοδο της κυκλικής συμμετρικής σύνθετης γκαουσιανής κατανομής (CSCG). Με έναν μεγάλο αριθμό τυχαίων Γκαουσιανών αναλύσεων, η SDR οδηγεί τελικά σε μια προσέγγιση της $\pi/4$ βέλτιστης αντικειμενικής τιμής

[100]. Κατά συνέπεια, η προσέγγιση SDR μπορεί να παρέχει μόνο προσεγγίσεις και η επίλυση προγραμμάτων SDP είναι υπολογιστικά δαπανηρή για μεγάλο αριθμό κεραιών και στοιχείων RIS.

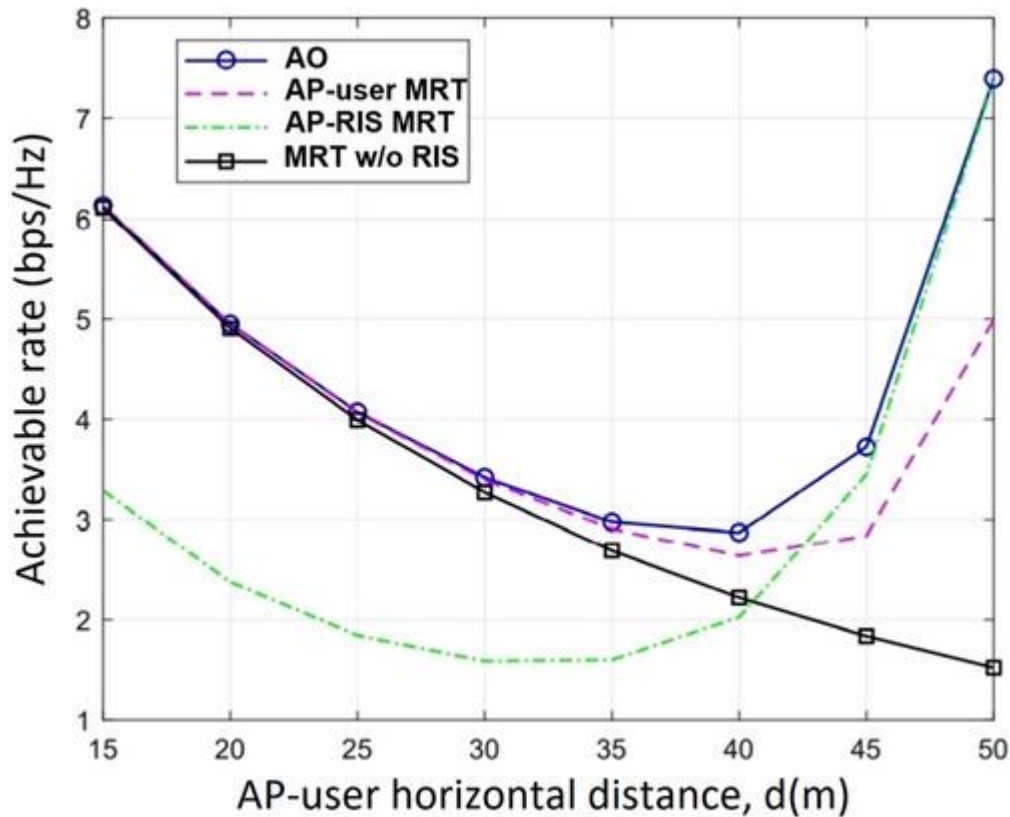
✓ Οι επαναληπτικές μέθοδοι:

Η βασική ιδέα των επαναληπτικών αλγορίθμων είναι η εύρεση μιας τοπικής ή σχεδόν βέλτιστης λύσης του προβλήματος ή στόχου με λογική υπολογιστική πολυπλοκότητα και αποδεκτό χρόνο εκτέλεσης. Για παράδειγμα, υπάρχουν αλγόριθμοι διαδοχικής βελτίωσης χαμηλής πολυπλοκότητας [94,98] που προσδιορίζουν επαναληπτικά τις βέλτιστες διακριτές μετατοπίσεις φάσης των διαφόρων στοιχείων του RIS μία προς μία. Έχουν επίσης εξεταστεί μέθοδοι που βασίζονται σε επαναλήψεις σταθερού σημείου και πολλαπλή βελτιστοποίηση [99] και οι συγγραφείς στο [107] χρησιμοποίησαν τη μέθοδο προβαλλόμενης κλίσης (PGM) για να βελτιστοποιήσουν από κοινού τη φάση του πίνακα συνδιακύμανσης μετάδοσης και των στοιχείων RIS. Η μέθοδος PGM πέτυχε τον ίδιο ρυθμό δεδομένων με τη μέθοδο εναλλασσόμενης βελτιστοποίησης, αλλά με λιγότερες επαναλήψεις και χαμηλότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα [109]. Οι συγγραφείς στο [1] πρότειναν μια μέθοδο ισχύος χαμηλής πολυπλοκότητας για τον υπολογισμό των κυρίαρχων ιδιοδιανυσμάτων του πίνακα συντελεστή ανάκλασης της διαμόρφωσης φάσης RIS. Γενικά, όλες αυτές οι επαναληπτικές μέθοδοι έδειξαν καλή απόδοση του συστήματος με αποδεκτή υπολογιστική πολυπλοκότητα και λογικό χρόνο εκτέλεσης.

3.2.2 Ενεργητική και παθητική διαμόρφωση δέσμης: Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας

Στο [114], διερευνάται από τους συγγραφείς ένα ραδιοσύστημα MISO από σημείο σε σημείο με τη βοήθεια RIS, όπου το RIS βοηθά τη μετάδοση από ένα σημείο πρόσβασης AP πολλαπλών κεραιών σε έναν χρήστη μίας κεραιάς. Ο χρήστης λαμβάνει ταυτόχρονα τόσο το άμεσο σήμα από το AP όσο και το ανακλώμενο σήμα από το RIS ενώ η ενεργή δέσμη εκπομπής του AP και η παθητική ανακλώμενη δέσμη του RIS συνδυάζονται με έναν μετατοπιστή φάσης για τη βελτιστοποίηση της συνολικής ισχύος του σήματος που λαμβάνει ο χρήστης. Υποθέτοντας ένα παγκόσμιο CSI, προτείνεται μια συγκεντρωτική

λύση βασισμένη στην τεχνολογία SDR. Λόγω της υψηλής επιβάρυνσης της εκτίμησης του καναλιού και της συνολικής διακύμανσης του σήματος στην κεντρική προσέγγιση, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί μια κατανεμημένη τεχνική χαμηλής πολυπλοκότητας, όπου το AP και το RIS εναλλάσσουν τη διαμόρφωση της δέσμης εκπομπής και τη μετατόπιση φάσης μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση. Σε σύγκριση με το σύστημα αναφοράς, τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι η προτεινόμενη τεχνική μπορεί να επιτύχει υψηλότερες επιδόσεις. Αποδεικνύεται επίσης ότι το RIS μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα της σύνδεσης και την κάλυψη σε σύγκριση με τις συμβατικές αναπτύξεις χωρίς RIS. Για παράδειγμα, στο σχήμα 16 [3, 114] διερευνάται τέσσερα σχήματα: (1) *Σχεδιασμός κοινής μετάδοσης και παθητικής διαμόρφωσης δέσμης του AO*, (2) *μετάδοση MRT χρήστη AP*, (3) *AP-RIS MRT* και (4) *MRT χωρίς RIS*. Όταν ο χρήστης βρίσκεται κοντά στο AP, το σύστημα MRTAP χρήστη λειτουργεί παρόμοια με το σύστημα AO, αλλά υφίσταται σημαντική απώλεια ρυθμού όταν ο χρήστης βρίσκεται κοντά στο RIS, όπως φαίνεται στο Σχήμα 16. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς στο πρώτο σενάριο η απευθείας σύνδεση AP - χρήστη κυριαρχεί στο σήμα που λαμβάνει ο χρήστης, ενώ στο δεύτερο σενάριο κυριαρχεί η σύνδεση RIS - χρήστη. Επιπλέον, το σύστημα MRTAP-RIS λειτουργεί με τον αντίθετο τρόπο σε σύγκριση με το αντίστοιχο MRTAP - χρήστη. Κατά συνέπεια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 16, εάν η διαμόρφωση δέσμης μετάδοσης δεν είναι καλά δομημένη σε σχέση με ολόκληρο το κανάλι, ο επιτεύξιμος ρυθμός με χρήση RIS μπορεί να είναι χαμηλότερος από το συμβατικό MRT χωρίς RIS, π.χ. υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις στην υλοποίηση συστημάτων AP-RIS MRT για αποστάσεις 40(Mtrs). Αυτό αναδεικνύει τη σημασία του συνδυασμού ενεργού και παθητικού σχηματισμού δέσμης για την επίτευξη της καλύτερης ισορροπίας μεταξύ της άμεσης μετάδοσης στον χρήστη και της έμμεσης μετάδοσης μέσω της ανάκλασης RIS, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ισχύς του σήματος που φθάνει στον χρήστη. Για ένα επιθυμητό SNR 8 dB, η περιοχή κάλυψης του δικτύου χωρίς RIS είναι περίπου 33 (Mtrs), ενώ η τιμή αυτή αυξάνεται σε περίπου 50 (Mtrs) όταν χρησιμοποιείται το προτεινόμενο συνδυασμένο σχήμα διαμόρφωσης δέσμης με RIS [114].



ΕΙΚΟΝΑ 16. Εφικτός ρυθμός συστήματος MISO με τη βοήθεια RIS έναντι οριζόντιας απόστασης χρήστη AP, d [11, 114]

Η κλιμάκωση ισχύος σε επαναδιαμορφώσιμες έξυπνες επιφάνειες και η σύγκρισή της με το m-MIMO, μελετώνται στην αναφορά [115] όπου οι συγγραφείς απέδειξαν αναλυτικά ότι το χάσμα μεταξύ m-MIMO και RIS είναι τεράστιο. Συνεπώς ένα RIS απαιτεί μεγάλο αριθμό ανακλαστικών στοιχείων για την επίτευξη SNR ισοδύναμων με το τεράστιο m-MIMO και καταλήγοντας σε ένα τέτοιο συμπέρασμα, οι συγγραφείς αποδοκιμάζουν τους μύθους και τη λανθασμένη κατανόηση των θεμελιωδών εννοιών του RIS.

Ένα σύστημα επικοινωνίας MISO από σημείο σε σημείο με τη βοήθεια RIS διερευνάται επίσης στο [116]. Ο διαμορφωτής δέσμης στο AP και οι μετατοπίσεις φάσης RIS συντονίζονται ταυτόχρονα για τη βελτίωση της φασματικής απόδοσης. Το πρόβλημα μη κυρτής βελτιστοποίησης αντιμετωπίζεται με τη βοήθεια δύο αποτελεσματικών μεθόδων που χρησιμοποιούν προσεγγίσεις επανάληψης σταθερού σημείου και πολλαπλής βελτιστοποίησης, αντίστοιχα. Η προτεινόμενη τεχνική όχι μόνο βελτιώνει τη φασματική απόδοση αλλά και μειώνει την υπολογιστική πολυπλοκότητα σε σύγκριση με τις υπάρχουσες σύγχρονες προσεγγίσεις. Το μοντέλο

καθοδικής ζεύξης MISO με υποστήριξη RIS που περιγράφεται παραπάνω και η διερευνητική βελτιστοποίηση μετασχηματισμού που περιγράφεται στα [114,116] παρέχουν ένα γενικό πλαίσιο για τον βέλτιστο σχεδιασμό συστημάτων με υποστήριξη RIS που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα σενάρια δικτύου. Ενώ διερευνώνται RIS με συνεχή μετατόπιση φάσης και μέγιστο πλάτος ανάκλασης, διαπιστώθηκε ότι ρεαλιστικά RIS με διακριτή μετατόπιση φάσης και διακριτό πλάτος ανάκλασης πληρούν τα κριτήρια υλικού.

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες ενότητες, οι συγγραφείς στο [117] παρουσίασαν ασύρματη επικοινωνία με βάση RIS και έδειξαν ότι ένα RIS με περιορισμένο αριθμό μετατοπίσεων φάσης για κάθε στοιχείο βελτιώνει την επικοινωνία μεταξύ ενός AP πολλαπλών κεραιών και πολλαπλών χρηστών μίας κεραιάς. Ειδικότερα, ο συνεχώς μεταδιδόμενος προ-κωδικοποιητής στο AP και οι διακριτές μετατοπίσεις φάσης στο RIS, συντονίστηκαν μαζί για χαμηλότερη ισχύ μετάδοσης στο AP ενώ εξακολουθούν να επιτυγχάνονται οι απαιτήσεις SINR χρήστη. Για περιπτώσεις ενός χρήστη και πολλών χρηστών, διερευνήθηκαν τόσο οι βέλτιστες όσο και οι διαδοχικές υπό βέλτιστες λύσεις που βασίζονται στη βελτίωση. Διερευνήθηκε περαιτέρω η υποβάθμιση των επιδόσεων RIS λόγω διακριτών μετατοπίσεων φάσης σε σύγκριση με ένα ιδανικό σενάριο με συνεχή μετατόπιση φάσης, όταν ο αριθμός των ανακλαστικών στοιχείων αυξάνεται ασυμπτωτικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, παραδόξως, η χρήση ενός RIS με μετατόπιση φάσης ενός bit μπορεί να παρέχει το ίδιο ασυμπτωτικό κέρδος ισχύος δεύτερης τάξης με τη συνεχή μετατόπιση φάσης μόνο όταν εφαρμόζεται σταθερή απώλεια ισχύος σε dB. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση της ισχύος μετάδοσης με τη χρήση RIS με διακριτή μετατόπιση φάσης σε σύγκριση με την περίπτωση χωρίς RIS. Επιπλέον, αποδείχθηκε ότι η άμεση κβαντοποίηση των βελτιστοποιημένων συνεχών μετατοπίσεων φάσης για τη δημιουργία διακριτών μετατοπίσεων φάσης προσφέρει σχεδόν βέλτιστη απόδοση στο σενάριο ενός χρήστη, αλλά αυτή η απόδοση μειώνεται σημαντικά στην περίπτωση πολλών χρηστών λόγω της σημαντικής παρεμβολής μεταξύ καναλιών.

Εξετάσαμε συστήματα επικοινωνίας στενής ζώνης με κανάλια εξασθένισης επίπεδων συχνοτήτων και με μια μονή και με πολλαπλή κεραιά για το AP και για τον χρήστη στις προαναφερθείσες εργασίες. Ως εκ τούτου, η ευρυζωνική επικοινωνία αποτελεί σημαντικό θέμα προς διερεύνηση στη βιβλιογραφία. Για συστήματα MIMO με

πολλαπλές κεραιές τόσο για το σημείο πρόσβασης όσο και για τον χρήστη και για ευρυζωνικά συστήματα OFDM με κανάλια επιλεκτικής εξασθένισης συχνότητας, το πρόβλημα βελτιστοποίησης παθητικής ανάκλασης RIS είναι πιο πολύπλοκο και δύσκολο, καθώς στο πρόβλημα πρέπει να ληφθούν υπόψη κανάλια πολλαπλών κεραιών και κανάλια πολλαπλών διαδρομών με διαφορετικές καθυστερήσεις. Το θεμελιώδες όριο χωρητικότητας ενός συστήματος επικοινωνίας MIMO από σημείο σε σημείο που υποστηρίζεται από ένα RIS με πομπούς και δέκτες πολλαπλών κεραιών υπολογίζεται συνήθως με την ταυτόχρονη βελτιστοποίηση του συντελεστή ανάκλασης RIS και του πίνακα συνδιακύμανσης μετάδοσης MIMO. Για κανάλια στο πεδίο της συχνότητας, έχουν αναπτυχθεί εναλλακτικές μέθοδοι βελτιστοποίησης για τη βελτιστοποίηση ενός από τους συντελεστές ανάκλασης ή του πίνακα συν διακύμανσης μετάδοσης κάθε φορά, ενώ οι υπόλοιποι παραμένουν σταθεροί για την εύρεση μιας τοπικής βέλτιστης λύσης που υπάρχει σε κλειστή μορφή. Αναπτύσσονται λιγότερο απαιτητικοί εναλλακτικοί αλγόριθμοι για συνθήκες ασυμπτωτικά χαμηλού SNR και υψηλού SNR, για κανάλια MISO και SIMO. Επιπλέον, διερευνάται ένα σύστημα MIMO-OFDM για κανάλια επιλεκτικής συχνότητας, όπου πρέπει να σχεδιαστεί μια συλλογή συντελεστών ανάκλασης για όλους τους υποφορείς. Μια νέα μέθοδος εναλλασσόμενης βελτιστοποίησης χρησιμοποιεί μια μέθοδο κυρτής χαλάρωσης για τη διαδοχική βελτιστοποίηση ενός συνόλου πινάκων συν διακύμανσης μετάδοσης σε διάφορους υποφορείς ή κοινών συντελεστών ανάκλασης για όλους τους υποφορείς. Εκτενή αριθμητικά αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος υπερτερεί έναντι πολλών μεθόδων αναφοράς με και χωρίς RIS όσον αφορά την απόδοση ταχύτητας. Τα κέρδη απόδοσης βελτιώνονται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων.

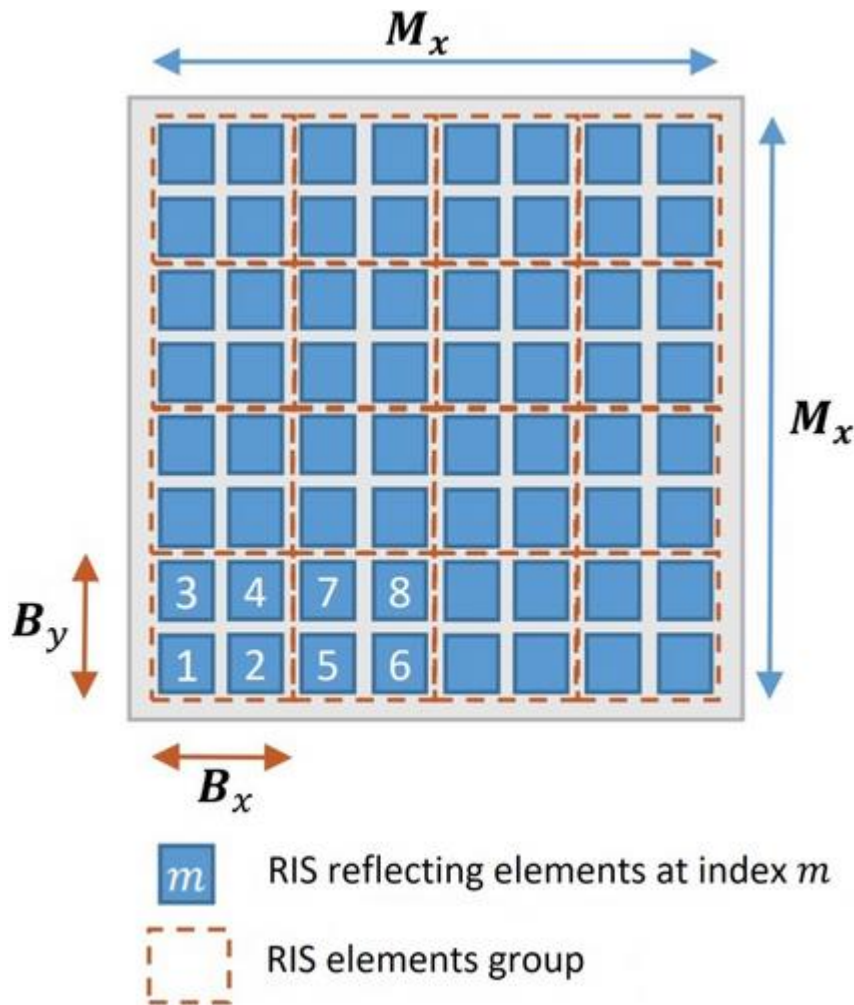
Οι συγγραφείς στο [119] κάνουν τις πρώτες προσπάθειες για να διερευνήσουν τη διαμόρφωση δέσμης ευρείας ζώνης για το μαζικό MIMO mm-Wave υποβοηθούμενο από RIS χρησιμοποιώντας διαφορετικό σχεδιασμό. Για υβριδικά συστήματα MIMO κυμάτων χιλιοστών (mm-Wave) με υποβοήθηση RIS, οι ερευνητές παρουσιάζουν μια γεωμετρική μέση μέθοδο διαμόρφωσης δέσμης με βάση τη μέση αποσύνθεση. Με τη βοήθεια του RIS, τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι η προτεινόμενη στρατηγική μπορεί να επιτύχει καλές επιδόσεις BER σε υβριδικά ευρυζωνικά συστήματα MIMO. Για να αυξήσει το άθροισμα του συστήματος, ο συγγραφέας [120] ενημέρωσε τον προ κωδικοποιητή πηγής και τον πίνακα μετατόπισης φάσης RIS σε

ένα σύστημα αμφίδρομης επικοινωνίας πλήρους διπλής όψης MIMO. Για τη μεγιστοποίηση του αθροίσματος του συστήματος, ο πίνακας μετατόπισης φάσης RIS και ο προ κωδικοποιητής πηγής συντονίζονται από κοινού χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Arimoto-Blahut, όπου το μη κυρτό πρόβλημα βελτιστοποίησης χωρίζεται σε τρία υποπροβλήματα, τα οποία εξετάζονται εναλλάξ. Η λύση κλειστής μορφής επιτρέπει τη γρήγορη επίλυση όλων των υποπροβλημάτων και η απόδοση RIS μπορεί να βελτιωθεί έως και κατά 35 dBm, η οποία ισοδυναμεί με έναν αναμεταδότη που λειτουργεί με ισχύ μετάδοσης μόνο 40 dBm. Αυτό αφορά τη διπλή εξασθένιση, η οποία αποτελεί πρόβλημα για το Υπουργείο Ενέργειας. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η RIS δεν απαιτεί ισχύ μετάδοσης.

Όλες οι προαναφερθείσες εργασίες [116,118-120] υποθέτουν ένα ιδανικό RIS με άπειρη ανάλυση φάσης, δηλαδή η μετατόπιση φάσης κάθε στοιχείου σκέδασης μπορεί να ελεγχθεί πλήρως. Ωστόσο, αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη και είναι εξίσου δύσκολο να αναπτυχθεί ένας ακριβής αλγόριθμος ελέγχου φάσης. Επιπλέον, συνήθως απαιτείται πλήρης CSI για να εκτελέσει ο ελεγκτής RIS ακριβή έλεγχο φάσης. Αυτό σημαίνει ότι ο διαμοιρασμός δεδομένων καθίσταται πολύ ακριβός, ιδίως για αυτοσυντηρούμενα RIS μέσω ασύρματης συλλογής ενέργειας.

Οι συγγραφείς στο [121] παρουσίασαν έναν νέο τρόπο χρήσης RIS για την αύξηση του επιτεύξιμου ρυθμού των συστημάτων OFDM. Οι συγγραφείς ανέπτυξαν ένα λειτουργικό πρωτόκολλο μετάδοσης που συγκεντρώνει στοιχεία RIS όπως φαίνεται στο Σχήμα 17, υπολογίζει ένα κοινόχρηστο κανάλι για κάθε ομάδα και μεταδίδει δεδομένα με βάση έναν κοινό παράγοντα ανάκλασης RIS. Με βάση τα εκτιμώμενα κανάλια του προτεινόμενου πρωτοκόλλου με αυθαίρετα καθορισμένη ομαδοποίηση, οι συγγραφείς διατύπωσαν ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης που συνδυάζει την κατανομή ισχύος μετάδοσης και τους συντελεστές ανάκλασης RIS. Η μη κοίλη συνάρτηση ρυθμού υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μια αποτελεσματική μέθοδο που βασίζεται στη διαδοχική κυρτή προσέγγιση (SCA) με ένα κοίλο κατώτερο όριο που βασίζεται στο ανάπτυγμα Taylor πρώτης τάξης. Η προσέγγιση με βάση την SCA εξασφαλίζει ότι το συνδυασμένο πρόβλημα της βελτιστοποίησης της ανάκλασης RIS και της ισχύος μετάδοσης συγκλίνει σε ένα σταθερό σημείο και έχει μόνο πολυωνμική πολυπλοκότητα σε σχέση με τον αριθμό των στοιχείων και των υποφορέων. Τα

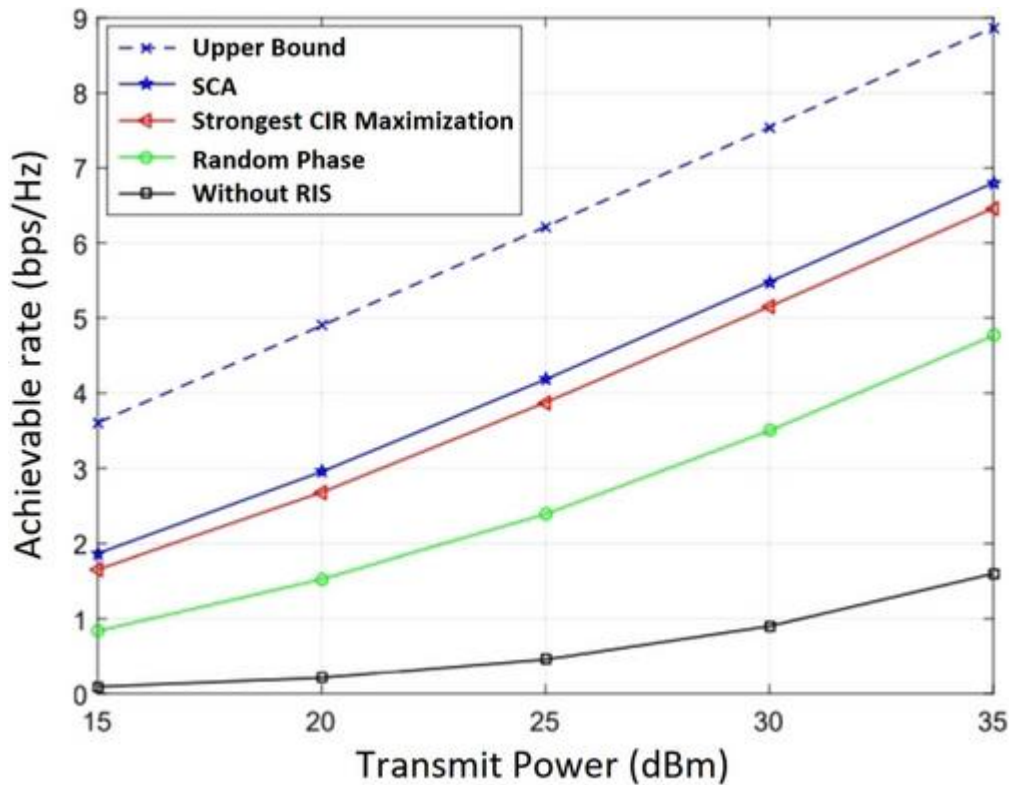
αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι η βελτίωση του ρυθμού δεδομένων σχετίζεται με την επιλογή του λόγου ομαδοποίησης και του χρόνου συνοχής του καναλιού, αλλά εάν οι παράμετροι σχεδιασμού οριστούν σύμφωνα με το υπολογισμένο CSI, το CSI που λαμβάνεται σε καθεστώς χαμηλού SNR είναι ανακριβές και προκαλεί σημαντική υποβάθμιση της απόδοσης τόσο για χαμηλούς όσο και για υψηλούς λόγους ομαδοποίησης. Επιπλέον, ο συγγραφέας θεωρεί τη συνεχή φάση και το μέγιστο πλάτος ίσα με ένα στα σχήματα βελτιστοποίησης αντί να προτείνει πρακτική διακριτή μετατόπιση φάσης. Έχουμε δει υποβάθμιση απόδοσης στο καθεστώς χαμηλού SNR καθώς οι παράμετροι σχεδιασμού προσαρμόζονται με βάση το υπολογισμένο CSI, το CSI που λαμβάνεται σε χαμηλό SNR είναι ανακριβές, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη υποβάθμιση της απόδοσης τόσο σε χαμηλές όσο και σε υψηλές αναλογίες ομαδοποίησης, επομένως, πιστεύουμε ότι για να μεγιστοποιηθεί το ποσοστό που μπορεί να επιτευχθεί, η προσέγγιση ομαδοποίησης καθώς και η σειρά εκπαίδευσης μπορούν να βελτιωθούν περαιτέρω. Επιπλέον, αντί να προτείνουν μια πρακτική διακριτή μετατόπιση φάσης, οι συγγραφείς υποθέτουν συνεχή φάση και μέγιστο πλάτος ίσο με ένα στο σχήμα βελτιστοποίησης. Στο καθεστώς χαμηλού SNR, το CSI που λαμβάνεται σε χαμηλό SNR είναι ανακριβές και παρατηρείται υποβάθμιση των επιδόσεων τόσο σε χαμηλό όσο και σε υψηλό λόγο ομαδοποίησης, δεδομένου ότι οι παράμετροι σχεδιασμού συντονίζονται σύμφωνα με το υπολογισμένο CSI. Ως εκ τούτου, οι συγγραφείς πιστεύουν ότι η προσέγγιση ομαδοποίησης καθώς και η ακολουθία εκπαίδευσης μπορούν να βελτιωθούν περαιτέρω για τη μεγιστοποίηση του επιτεύξιμου λόγου. Οι συγγραφείς θεωρούν επίσης ότι αντί να προτείνουν μια πρακτική διακριτή μετατόπιση φάσης, η συνεχής φάση και το μέγιστο πλάτος είναι ίσα με ένα στο σχήμα βελτιστοποίησης.



ΕΙΚΟΝΑ 17. Η απεικόνιση του RIS αντικατοπτρίζει τον πίνακα και την προτεινόμενη ομαδοποίηση στοιχείων [121]

Για περαιτέρω μείωση της πολυπλοκότητας, οι συγγραφείς στο [122] πρότειναν τη μεγιστοποίηση της απόκρισης παλμού υψηλότερου καναλιού (CIR), σε μια απλούστερη προσέγγιση στην οποία οι αλλαγές φάσης RIS ευθυγραμμίζονται μόνο με το κανάλι του πεδίου του χρόνου με την ισχυρότερη ισχύ διαδρομής. Οι συγγραφείς προτείνουν ένα εφικτό πρωτόκολλο μετάδοσης για συστήματα OFDM ενισχυμένα με RIS με διαδοχική εκτίμηση καναλιού και βελτιστοποίηση ανάκλασης όπου το RIS προτείνει ένα μοναδικό μοντέλο ανάκλασης για να διευκολύνει την εκτίμηση καναλιού στο AP με βάση το πιλοτικό σήμα που λαμβάνεται από τον χρήστη και το σφάλμα του υπολογίζεται σε κλειστή μορφή υπό τον περιορισμό του μέτρου μονάδας. Οι συντελεστές ανάκλασης βελτιστοποιούνται στη συνέχεια με μια προσέγγιση χαμηλής πολυπλοκότητας με βάση το εκτιμώμενο CSI και την αποσυντεθειμένη ισχυρότερη διαδρομή σήματος στο πεδίο του χρόνου. Από το Σχήμα 18 φαίνεται ότι ο αλγόριθμος

που βασίζεται στην SCA και προτείνεται στο [121] ο οποίος επιτυγχάνει πολύ υψηλότερους ρυθμούς σε σύγκριση με το σύστημα OFDM χωρίς RIS, πάνω στο σύστημα OFDM με τυχαία μετατόπιση φάσης RIS και την αντίστοιχη βέλτιστη κατανομή ισχύος μετάδοσης. Επιπλέον, ένας πιο εύρωστος αλγόριθμος μεγιστοποίησης του CIR παρέχει παρόμοια αποτελέσματα με τη μέθοδο που βασίζεται στην SCA και αποτελεί μια οικονομικά αποδοτική και χαμηλής πολυπλοκότητας επιλογή. Η μέθοδος παράγει επίσης ιδανικά διαφορετικούς συντελεστές ανάκλασης RIS για διαφορετικούς υποφορείς, υποδεικνύοντας ότι μπορεί να επιτευχθεί ένα σύστημα ανάκλασης RIS με επιλεκτική συχνότητα και να περιοριστεί ο ρυθμός. Για ρεαλιστική ανάκλαση RIS επίπεδης συχνότητας, αυτό το ανώτατο όριο ρυθμού είναι σημαντικά υψηλότερο από την προσέγγιση με βάση την SCA και η διαφορά ρυθμού αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των υποφορέων. Ως αποτέλεσμα της παθητικής λειτουργίας του, τα συστήματα OFDM με τη βοήθεια RIS έχουν μια βασική αδυναμία απουσίας επιλεκτικότητας συχνότητας της ανάκλασης RIS. Λόγω της ανάγκης εξυπηρέτησης πρόσθετων καναλιών τόσο στο χώρο όσο και στη συχνότητα, ο σχεδιασμός ανάκλασης RIS για την αύξηση του ρυθμού συνεπάγεται γενικότερα συστήματα MIMO-OFDM που υποστηρίζονται από RIS, όπου ο χρήστης και το AP διαθέτουν περισσότερες κεραιές. Επιπλέον, πολυάριθμοι πίνακες συνδιακύμανσης μετάδοσης σε διακριτούς υποφορείς πρέπει να βελτιστοποιηθούν μαζί με την ανάκλαση RIS. Ως εκ τούτου, οι συγγραφείς στο [118] πρότειναν μια αποτελεσματική λύση βασισμένη στην AO επεκτείνοντας τις συνθήκες στενής ζώνης MIMO και χρησιμοποιώντας μεθόδους κυρτής χαλάρωσης. Παρά την έλλειψη επιλεκτικότητας συχνότητας, τα αποτελέσματα στο [118] αποκάλυψαν ότι το RIS εξακολουθεί να είναι χρήσιμο για τη βελτίωση του λόγου ενός συστήματος MIMO-OFDM με καλά σχεδιασμένο συντελεστή ανάκλασης RIS σε σύγκριση με ένα τυπικό σύστημα που δεν λαμβάνει υπόψη το RIS.

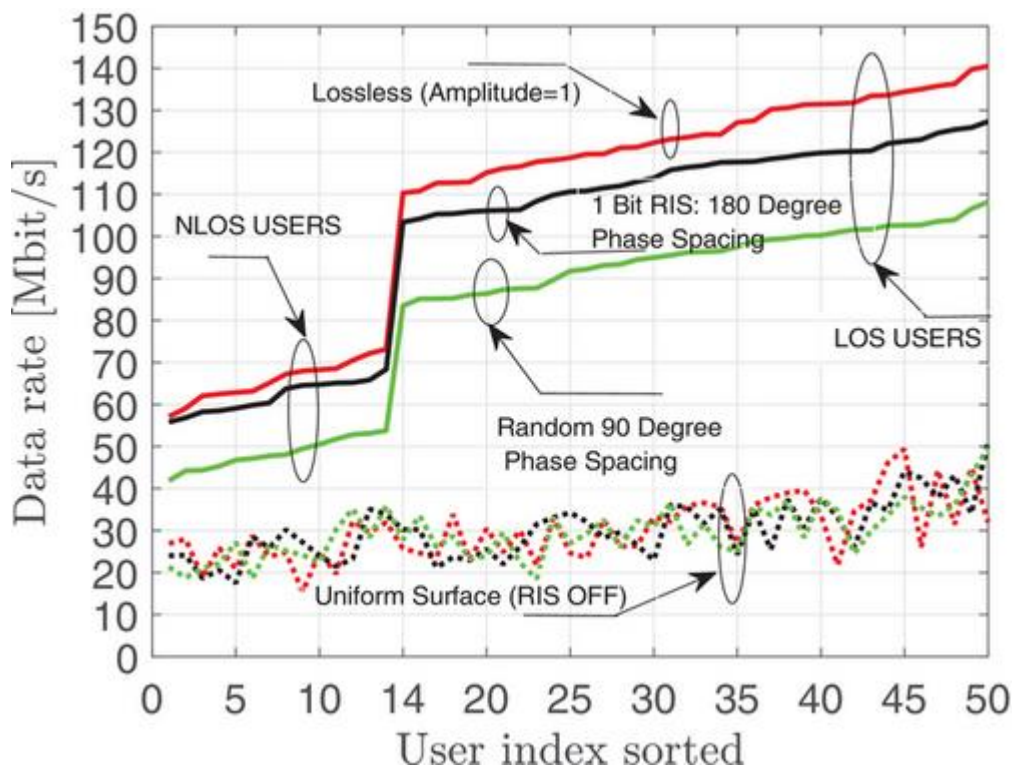


ΕΙΚΟΝΑ 18. Επιτυχής ρυθμός έναντι ισχύος μετάδοσης για σύστημα OFDM υποβοηθούμενο από RIS [122]

Διαφορετικά από τις παραπάνω έρευνες, οι συγγραφείς στο [79] διερεύνησαν ένα σύστημα OFDM ευρείας ζώνης που υποστηρίζεται από μια πρακτική διαμόρφωση RIS με δύο δυαδικές καταστάσεις ανά στοιχείο καθώς και αμοιβαία σύζευξη μεταξύ γειτονικών στοιχείων. Νέες τεχνικές εκτίμησης καναλιού και διαμόρφωσης προτείνονται και αναλύονται χρησιμοποιώντας το σύνολο δεδομένων στο [123]. Λόγω της εξισορρόπησης μεταξύ πολλών υποφορέων, είναι δύσκολο να βρεθεί μια καλή διαμόρφωση RIS με λογική πολυπλοκότητα στα συστήματα OFDM.

Στο [122,129], διερευνάται η πιο ισχυρή προσέγγιση μεγιστοποίησης της βρύσης που μεγιστοποιείτο μέγεθος της μεγαλύτερης εισόδου καναλιού. Αυτό λειτουργεί καλά για κανάλια LoS, αλλά όχι για κανάλια NLoS [16] και είναι δύσκολο να επεκταθεί σε σενάρια όπου κάθε στοιχείο RIS έχει μόνο δύο καταστάσεις. Αντ' αυτού, οι συγγραφείς στόχευσαν στη βελτιστοποίηση της συνολικής ισχύος του λαμβανόμενου σήματος δημιουργώντας έναν αλγόριθμο που βασίζεται στην επαναληπτική μέθοδο ισχύος, ο οποίος βρίσκει την κυρίαρχη τιμή με επαναληπτικούς υπολογισμούς μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν τους ρυθμούς που

πέτυχαν οι 50 χρήστες στο σύνολο δεδομένων σύμφωνα με το Σχήμα 19, τα οποία διευθετούνται αυξάνοντας τα ποσοστά χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη τεχνική. Χρησιμοποιούνται δύο σημεία αναφοράς: (1) επιλογή της καλύτερης διαμόρφωσης μεταξύ των N που εξετάστηκαν κατά τη διάρκεια της πιλοτικής μετάδοσης και (2) απενεργοποίηση όλων των συντελεστών για να προσομοιωθεί μια ομοιόμορφη μεταλλική επιφάνεια. Για όλους τους χρήστες, συμπεριλαμβανομένου του NLoS, η προτεινόμενη τεχνική δίνει υψηλότερα ποσοστά. Σε σύγκριση με μια ομοιόμορφη επιφάνεια, ο ρυθμός αθροίσματος με ένα βελτιστοποιημένο RIS είναι 3,3 φορές υψηλότερος, αποδεικνύοντας τα σημαντικά οφέλη της τεχνολογίας ακόμη και σε πολύπλοκες διαμορφώσεις.



ΕΙΚΟΝΑ 19. Επιτευχθείς ρυθμός δεδομένων με χρήση δεδομένων στο [123]

Παρόμοια με το [79], οι συγγραφείς στο [130] ερεύνησαν ένα σύστημα πολυπλεξίας OFDM με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας ευρείας ζώνης για πολλούς χρήστες MISO, ενώ πρώτα εξέτασαν το φαινόμενο στραβισμού διπλής φάσης και πλάτους των ανακλώμενων σημάτων πριν παρουσιάσουν ένα απλοποιημένο μοντέλο ανάκλασης RIS για σήματα ευρείας ζώνης. Στη συνέχεια, εξετάζεται το ευρυζωνικό σύστημα MU MISO-OFDM ενισχυμένου RIS. Όταν χρησιμοποιούνται τόσο συνεχείς όσο και διακριτοί μετατοπιστές φάσης, ο διαμορφωτής δέσμης εκπομπής και το ανακλαστικό

RIS χρησιμοποιούνται μαζί για τη μεγιστοποίηση του μέσου αθροιστικού ρυθμού σε όλες τις υποφορείς. Το αρχικό πρόβλημα μετασχηματίζεται σε ένα μεταβλητό πρόβλημα πολλαπλών μπλοκ που μπορεί να επιλυθεί αποτελεσματικά με τη χρήση μιας προσέγγισης κατάβασης συντεταγμένων μπλοκ (BCD), αξιοποιώντας τη σχέση μεταξύ της μεγιστοποίησης του αθροίσματος και της ελαχιστοποίησης του MSE. Η πολυπλοκότητα και η σύγκλιση αναλύονται και στα δύο σενάρια. Σε σύγκριση με το ιδανικό μοντέλο ανάκλασης RIS, Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καταδεικνύουν ότι η προτεινόμενη τεχνική μπορεί να προσφέρει σημαντική αύξηση του μέσου αθροίσματος του ρυθμού, υπογραμμίζοντας τη σημασία της χρήσης του ρεαλιστικού μοντέλου στο σχεδιασμό συστημάτων ευρείας ζώνης. Ωστόσο, οι συγγραφείς υποθέτουν ότι τα κανάλια ήταν γνωστά, αλλά στην πράξη απαιτείται μια φάση εκτίμησης καναλιών. Επειδή το RIS είναι μια παθητική συσκευή, η εκτίμηση πρέπει να γίνει στον δέκτη, κάτι που δεν ελήφθη υπόψη επιπλέον της σωστής χρήσης του RIS.

Συζητήσεις και διορατική προοπτική για την ενότητα III

Συνοψίζοντας την ανάλυση απόδοσης, θα θέλαμε να αναφέρουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος των ερευνητικών εργασιών προϋποθέτει ότι οι πληροφορίες κατάστασης καναλιού και οι διακριτές μετατοπίσεις φάσης είναι γνωστές τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη [68]. Κατά συνέπεια, απαιτούνται περισσότερες πρακτικές ρυθμίσεις για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των κυψελοειδών δικτύων RIS μεγάλης κλίμακας στην πράξη. Επιπλέον, σε εσωτερικά και εξωτερικά περιβάλλοντα επικοινωνίας, η προαναφερθείσα βιβλιογραφία δίνει ελάχιστη προσοχή στην κινητικότητα των χρηστών. Η κινητικότητα των χρηστών μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην απόδοση του συστήματος, όχι μόνο όσον αφορά την κίνηση μεταξύ των μονάδων RIS, αλλά και λόγω των γεωγραφικών συσχετίσεων στην κατανομή των χρηστών. Ως εκ τούτου, η ενσωμάτωση διαφορετικών προτύπων κινητικότητας στην απόδοση θα αποτελέσει σημαντικό ερευνητικό θέμα στο μέλλον. Επιπλέον, η μεγιστοποίηση των κερδών απόδοσης για συγκεκριμένα ζητήματα δομής δικτύου απαιτεί συντονισμό των ενεργών πομποδεκτών και των παθητικών στοιχείων διασποράς των RIS. Το παθητικό ανακλώμενο σήμα, το οποίο σχετίζεται στενά με τις μεταβλητές ελέγχου του ενεργού πομποδέκτη, μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμένος έλεγχος φάσης της συνιστώσας σκέδασης. Το απρόβλεπτο και πανταχού παρόν των αντικειμένων σκέδασης σε σενάρια ασύρματου περιβάλλοντος περιπλέκει την

αξιολόγηση της απόδοσης των ασύρματων συστημάτων που υποστηρίζουν RIS και θέτει νέες προκλήσεις βελτιστοποίησης που απαιτούν δημιουργικούς τρόπους για να εξεταστεί η επικοινωνία μεταξύ ενεργών και παθητικών συσκευών [3,16]. Ο πίνακας 4 είναι μια σύνοψη ορισμένων εργασιών που έγιναν στην ανάλυση του συστήματος απόδοσης λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση των έξυπνων ανακλαστικών επιφανειών ως ανακλαστήρα, δέκτη και πομπού επιπλέον των στόχων σχεδιασμού. Σε αυτό το δύσκολο ασύρματο περιβάλλον, απαιτούνται ακόμη νέες και ριζοσπαστικές λύσεις για τη δημιουργία ενός πραγματικά πανταχού παρόντος ασύρματου δικτύου, ικανού να παρέχει συνεχή επικοινωνία και καλή ποιότητα υπηρεσιών (QoS) για μεγάλο αριθμό χρηστών.

Ως σύνοψη των τεχνικών βελτιστοποίησης και των αλγορίθμων, διάφορες τεχνικές βελτιστοποίησης έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία για τη μελέτη της απόδοσης και της αποδοτικότητας λαμβάνοντας υπόψη πολλές παραμέτρους του συστήματος επικοινωνίας, όπως η χωρητικότητα, ο ρυθμός, ο συνολικός ρυθμός και το SNR τόσο για μη ευρυζωνικά όσο και για ευρυζωνικά δίκτυα. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά ζητήματα που πρέπει να διερευνηθούν, όπως η μετατόπιση Doppler και η κινητικότητα, τα πρακτικά μοντέλα μετατόπισης φάσης, η ακριβής και γρήγορη εκτίμηση του καναλιού και η διασύνδεση γειτονικών στοιχείων RIS, τα οποία δεν έχουν ακόμη αντιμετωπιστεί επαρκώς στις παραπάνω μελέτες. Ο πίνακας 5 συνοψίζει τα αποτελέσματα της μελέτης βελτιστοποίησης της ανάκλασης RIS με βάση την ανάλυση της διαμόρφωσης του συστήματος και τις μεθόδους βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Περίληψη υφιστάμενων εργασιών στον τομέα της ανάλυσης απόδοσης συστημάτων RIS

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Λειτουργία IRS	Κριτήριο μέτρησης απόδοσης	Στόχος σχεδιασμού
[60]	MIMO	Πομπός	BER	Βελτίωση της απόδοσης και ενίσχυση τη φασματικής

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Λειτουργία IRS	Κριτήριο μέτρησης απόδοσης	Στόχος σχεδιασμού
[61]	SISO παρουσία τυχαίων αντικειμένων	Κάτοπτρο	Πιθανότητα να είναι ανακλαστήρα ς	απόδοσης Εάν ένα αντικείμενο είναι επικαλυμμένο σε μετα-επιφάνειες, η πιθανότητα να είναι ανακλαστήρας δεν επηρεάζεται από το μήκος του, αλλά επηρεάζεται έντονα εάν πρέπει να εφαρμοστεί ο νόμος ανάκλασης του Snell
[62]	Επικοινωνίες κυμάτων SISO mm με Blocked LoS	Κάτοπτρο	Πιθανότητα διακοπής λειτουργίας	Ακόμη και όταν οι συνδέσεις εμποδίζονται από εμπόδια, μια ανάπτυξη συστοιχίας ανακλαστικών μπορεί να

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Λειτουργία IRS	Κριτήριο μέτρησης απόδοσης	Στόχος σχεδιασμού
[63]	MISO	Κάτοπτρο	Πιθανότητα διακοπής λειτουργίας	<p>παρέχει αξιόπιστες συνδέσεις mm- Wave για επικοινωνίες εσωτερικού χώρου</p> <p>Οι επιδράσεις αρκετών κρίσιμων παραγόντων του συστήματος στην ιδανική πιθανότητα διακοπής αναλύονται για να αποκαλυφθούν κρίσιμες ιδέες σχεδιασμού</p>
[64]	SISO με παρουσία τόσο μπλοκαρίσματα ς σήματος οπτικής επαφής όσο και ανακλαστήρων	Κάτοπτρο	Πιθανότητα κάλυψης	Βελτίωση της κάλυψης σε δίκτυα υψηλής πυκνότητας

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Λειτουργία IRS	Κριτήριο μέτρησης απόδοσης	Στόχος σχεδιασμού
[67]	SISO με διπλά κανάλια Nakagamim	Κάτοπτρο	Πιθανότητα σφάλματος bit	Βελτίωση της απόδοσης
[68]	SISO κάτω από το κανάλι εξασθένισης Rayleigh	Ανακλαστήρας και πομπός	ΣΕΠ	Αύξηση του λαμβανόμενου SNR
[70]	Σύστημα NOMA πολλαπλών χρηστών	Κάτοπτρο	BER	Βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας του συστήματος
[71]	Πολλαπλών χρηστών MISO	Κάτοπτρο	SER	Βέλτιστο SNR και αύξηση ποσοστού αθροίσματος
[74]	mm-Wave MIMO	Κάτοπτρο	Εφικτό ποσοστό	Υψηλό ποσοστό σε χαμηλό SNR
[75]	Σημείο προς σημείο MIMO	Κάτοπτρο	Εφικτό ποσοστό	Βαθμολόγηση κρίνοντας την κατάλληλη ανάπτυξη RIS και φάσεις

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Λειτουργία IRS	Κριτήριο μέτρησης απόδοσης	Στόχος σχεδιασμού
[76]	Στενή ζώνη SISO	Κάτοπτρο	Επιτεύξιμος ρυθμός χρήστη	Μεγιστοποίηση ρυθμού δεδομένων
[78]	Μονό BS-Multiuser	Κάτοπτρο	Χωρική απόδοση	Μεγιστοποίηση της χωρικής απόδοσης για τους χρήστες
[79]	Μονό BS-Multiuser	Κάτοπτρο	Επιτεύξιμος ρυθμός χρήστη	Ενίσχυση αθροίσματος
[80]	Μονό AP-Multiuser	Κάτοπτρο	Επιτεύξιμος ρυθμός χρήστη	Ανώτερη απόδοση ρυθμού κεντρικής έναντι καταναεμημένης
[81]	SISO	Κάτοπτρο	Πιθανότητα κάλυψης	Η αύξηση του αριθμού των επιφανειών ξεπερνά την τεχνική σχεδιασμού της αύξησης του αριθμού των στοιχείων ανά επιφάνεια.

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Λειτουργία IRS	Κριτήριο μέτρησης απόδοσης	Στόχος σχεδιασμού
[82]	Uplink LIS-based μεγάλο σύστημα συστοιχίας κεραιών για μεμονωμένους πολλαπλούς χρήστες κεραίας	Δέκτης	Εργοδικό ποσοστό	Δημιουργήστε απόδοση συγκρίσιμη με το παραδοσιακό μαζικό MIMO
[83]	Uplink ενός χρήστη στη μονάδα επεξεργασίας σήματος	Δέκτης	Χωρητικότητα	Μείωση των επιπτώσεων των βλαβών υλικού
[84]	MU-MISO	Κάτοπτρο	Sum SE	Ενίσχυση αθροίσματος SE
[85]	Μονή κεραία που ακτινοβολεί σε LIS	Δέκτης	Τοποθέτηση κάλυψης	Οι κατανεμημένες υλοποιήσεις έχουν τη δυνατότητα να επεκτείνουν την κάλυψη τοποθέτησης τερματικών και να παρέχουν ανώτερο μέσο

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Λειτουργία IRS	Κριτήριο μέτρησης απόδοσης	Στόχος σχεδιασμού
				όριο Cramer–Rao (CRLB) σε όλες τις διαστάσεις.
[124]	MISO	Κάτοπτρο	Πιθανότητα κάλυψης και μέση απόδοση	Βελτιώστε την πιθανότητα κάλυψης και την απόδοση του συστήματος χωρίς να καταναλώνετε περισσότερη ενέργεια.
[125]	MISO-OFDM	Κάτοπτρο	Ποσοστό κατερχόμενης ζεύξης	Βελτίωση του ρυθμού κατερχόμενης ζεύξης παρά την έλλειψη ανεξάρτητου ελέγχου φάσης RIS
[126]	Μεμονωμένος χρήστης SISO	Συστοιχία ανακλαστήρων v	Πιθανότητα διακοπής λειτουργίας και μέση πιθανότητα	Το σύστημα υποβοήθησης RIS ξεπερνά το σύστημα ρελέ AF με λιγότερα

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Λειτουργία IRS	Κριτήριο μέτρησης απόδοσης	Στόχος σχεδιασμού
			σφάλματος bit	ανακλαστικά στοιχεία
[127]	Μία πηγή και δύο κόμβοι ασύρματου αισθητήρα	Κάτοπτρο	Μέση πιθανότητα σφάλματος συμβόλου (ASER) και πιθανότητα διακοπής λειτουργίας	Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ανακλαστικών στοιχείων, βελτιώνεται η απόδοση
[128]	RIS-assisted NOMA	Forward Relay	Πιθανότητα διακοπής λειτουργίας	Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε σύγκριση με τις συμβατικές συνεργατικές επικοινωνίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Σύνοψη της υπάρχουσας εργασίας τεχνικών βελτιστοποίησης για συστήματα στενής και ευρείας ζώνης

Αναφορά	Μοντέλο συστήματος	Αλγόριθμος	Απόδοση Αλγορίθμου	Στόχος εργασίας
[79]	Ευρυζωνικό Multiuser SISO-OFDM	Μέθοδος ισχύος	Ευρετική	Μεγιστοποίηση ρυθμού δεδομένων για

Αναφορά	Μοντέλο συστήματος	Αλγόριθμος	Απόδοση Αλγορίθμου	Στόχος εργασίας
				50 χρήστες
[114]	Μονό/Πολλαπλό MISO στενής ζώνης	AO και SDR	Κοντά στο Optimal	Σε ένα σύστημα πολλαπλών χρηστών με υποβοήθηση RIS, στόχος είναι η μείωση όσο το δυνατόν περισσότερο την ισχύ μετάδοσης
[116]	MISO για έναν χρήστη στενής ζώνης	Επανάληψη σταθερού σημείου, πολλαπλή βελτιστοποίηση	Τοπικά Βέλτιστο	Μεγιστοποίηση της φασματικής απόδοσης και χαμηλότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα
[117]	Στενής ζώνης MISO ενός και πολλαπλών χρηστών	Αλγόριθμοι βασισμένοι σε προκωδικοποιητή ZF και MMSE	Κοντά στο Optimal	Συνδυασμός στην προκωδικοποίηση συνεχούς μετάδοσης του AP με τις διακριτές αλλαγές φάσης ανάκλασης του RIS για μείωση της ισχύος

Αναφορά	Μοντέλο συστήματος	Αλγόριθμος	Απόδοση Αλγορίθμου	Στόχος εργασίας
				μετάδοσης στο AP
[118]	Ευρυζωνική Μονή Χρήστη MIMO-OFDM	ΑΟ και κυρτή χαλάρωση	Τοπικά Βέλτιστο	Αύξηση χωρητικότητας
[119]	Ευρυζωνική MIMO-OFDM με κύμα mm ενός χρήστη	Γεωμετρική μέση αποσύνθεση (GMD) με βάση τον σχηματιστή δέσμης και τον συνδυαστή	Ευρετική	Βελτίωση στο BER χωρίς εξελιγμένη κατανομή bit/ισχύς
[120]	Στενής ζώνης Full-duplex MIMO	Αλγόριθμος Arimoto-Blahut	Κοντά στο Optimal	Μεγιστοποίηση του ποσοστού αθροίσματος
[121]	Ευρυζωνική Ενιαία χρήστης SISO-OFDM	SCA, ΑΟ	Κοντά στο Optimal	Για βελτιστοποίηση του επιτεύξιμου ρυθμού, στόχος είναι ο συνδυασμός της κατανομής ισχύος

Αναφορά	Μοντέλο συστήματος	Αλγόριθμος	Απόδοση Αλγορίθμου	Στόχος εργασίας
				μετάδοσης και τους συντελεστές ανάκλασης παθητικής διάταξης RIS
[122]	Ευρυζωνική Ενιαία χρήστης SISO-OFDM	Η μέθοδος μεγιστοποίησης της ισχυρότερου CIR (SCM)	Κοντά στο Optimal	Μεγιστοποίηση της εφικτής τιμής ημερομηνίας
[129]	Ευρυζωνική Ενιαία χρήστης SIMO-OFDM	SDR, STM	Κοντά στο Optimal	Βελτίωση τον μέγιστο εφικτό ρυθμό και τον λανθάνοντα χρόνο μεταφοράς δεδομένων
[130]	Ευρεία ζώνη πολλαπλών χρηστών MISO-OFDM	Τριφασική μονοδιάστατη μέθοδος αναζήτησης	Κοντά στο Optimal	Προσδιορισμός στο υψηλότερο μέσο αθροιστικό ποσοστό του συστήματος ευρείας ζώνης MU-MISO-OFDM

Αναφορά	Μοντέλο συστήματος	Αλγόριθμος	Απόδοση Αλγορίθμου	Στόχος εργασίας
[131]	Ευρεία ζώνη πολλαπλών χρηστών SISO-OFDM	ΑΟ	/	Η αναγκαιότητα εξέτασης πρακτικού μοντέλου RIS για την εκτίμηση καναλιών. Η αναγκαιότητα εξέτασης πρακτικού μοντέλου RIS για την εκτίμηση καναλιών
[132]	Ευρεία ζώνη πολλαπλών χρηστών SISO-OFDM	Τριφασική μονοδιάστατη μέθοδος αναζήτησης (QUBO)	/	Αντιστοίχιση κάθε RIS σε μία UE κατ' ανώτατο όριο, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο προγραμματισμού κατανομής για κάθε UE
[133]	Ευρεία ζώνη ενός χρήστη OFDM	ΑΟ	Υψηλής ποιότητας	Βελτιστοποίηση της κατανομής ισχύος μετάδοσης στο BS και τους συντελεστές αντανάκλασης

Αναφορά	Μοντέλο συστήματος	Αλγόριθμος	Απόδοση Αλγορίθμου	Στόχος εργασίας
				παθητικής συστοιχίας στο IRS για να ενισχύσετε τον εφικτό ρυθμό κατερχόμενης ζεύξης του χρήστη
[134]	Ευρεία ζώνη πολλαπλών κεραιών για υποκλοπές MIMOME-OFDM	AO	Προσεγγιστική και μη βέλτιστη	Μεγιστοποίηση του ποσοστού μυστικότητας αθροίσματος
[135]	Wideband Multicell MISO πολλών χρηστών OFDMA εξαιρετικά αξιόπιστη χαμηλή καθυστέρηση (ULLC)	Successive Convex Approximation and iterative rank maximization approach (IRMA)	Επαναληπτική υποβέλτιστη	Υπό περιορισμούς QoS, μεγιστοποιήστε τη σταθμισμένη συνολική απόδοση
[136]	Wideband RIS-Assisted UAV OFDMA	AO	Προσέγγιση	Η χρήση ενός RIS στη μετάδοση UAV

Αναφορά	Μοντέλο συστήματος	Αλγόριθμος	Απόδοση Αλγορίθμου	Στόχος εργασίας
				OFDMA μπορεί να ενισχύσει δραματικά το συνολικό ρυθμό του συστήματος
[137]	Wideband Multiuser RIS assisted UAV	Διαδοχική κυρτή προσέγγιση με την ποιή περιορισμού Rate	Επαναληπτικό Υποβέλτιστο	Μεγιστοποιήστε το χαμηλότερο δυνατό μέσο ποσοστό για όλους τους χρήστες
[138]	Στενής ζώνης MISO ενός χρήστη	Branch and Bound (BnB)	Παγκόσμια Βέλτιστη	Μεγιστοποίηση της φασματικής απόδοσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

Πρωτόκολλο εκτίμησης καναλιών και πιλοτική μετάδοση

Για να εκτιμηθούν αποτελεσματικά τα πλεονεκτήματα απόδοσης που παρέχει το RIS, είναι απαραίτητο το ακριβές CSI, το οποίο είναι ένα πρακτικό εμπόδιο. Οι προκλήσεις μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

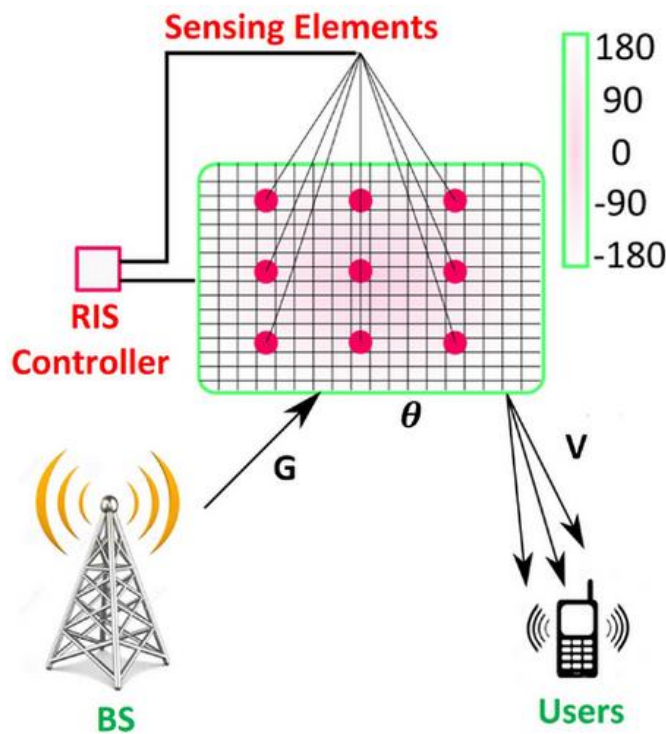
Εκτός από το ότι έχει σημαντικά περισσότερους συντελεστές καναλιών που προκαλούνται από το RIS από ένα συμβατικό σύστημα χωρίς RIS, η εκτίμηση καναλιού RIS έχει ένα εμπόδιο στο ότι τα φθηνά ανακλαστικά εξαρτήματά του δεν διαθέτουν ενεργές αλυσίδες ραδιοσυχνοτήτων και ως εκ τούτου δεν μπορούν να μεταδώσουν πιλοτικά και εκπαιδευτικά σήματα για να διευκολύνουν την εκτίμηση καναλιού, σε αντίθεση με τα ενεργά BS και τον εξοπλισμό χρήστη των παραδοσιακών συστημάτων.

Η εκτίμηση καναλιών RIS να κατασκευάζει κανάλια υψηλών διαστάσεων από κανάλια χαμηλής διάστασης με κατά προσέγγιση CSI.

Σε ευρυζωνικά συστήματα με κανάλια εξασθένισης επιλεκτικής συχνότητας, πρέπει να εκτιμηθούν περισσότεροι συντελεστές καναλιών λόγω της εξάπλωσης καθυστέρησης πολλαπλών διαδρομών και της επακόλουθης συνέλιξης των καναλιών πολλαπλών διαδρομών User-RIS και RIS-BS σε κάθε διαδοχικό κανάλι User-RIS-BS. Επιπλέον, αν και τα κανάλια είναι επιλεκτικά ως προς τη συχνότητα, οι συντελεστές ανάκλασης RIS είναι σταθεροί ως προς τη συχνότητα, καθιστώντας αδύνατη τη δημιουργία ευέλικτων διαφορών συχνοτήτων, όπως ξεχωριστούς υπό-φορείς στις επικοινωνίες OFDM. Σε όλα τα σενάρια SISO, MISO, MIMO, μεμονωμένων και πολλών χρηστών, η πρόβλεψη του καναλιού RIS για ευρυζωνικά κανάλια εξασθένισης επιλεκτικής συχνότητας είναι πολύ πιο δύσκολη από την εκτίμηση του καναλιού RIS για κανάλια επίπεδης εξασθένισης στενής ζώνης λόγω αυτών των χαρακτηριστικών [3].

Υπάρχουν δύο βασικές μεθοδολογίες για εκτιμήσεις καναλιών RIS στη διαθέσιμη βιβλιογραφία, οι οποίες βασίζονται σε δύο εναλλακτικές διαμορφώσεις RIS, ανάλογα με το αν είναι εγκατεστημένο με συσκευές ανίχνευσης (λήψη αλυσίδων ραδιοσυχνοτήτων σύμφωνα με το σχήμα 20) ή όχι, και αναφέρονται ως ημι-παθητικό RIS και εντελώς παθητικό RIS, αντίστοιχα. Για περισσότερες λεπτομέρειες, ανατρέξτε

στο [140, 141]. Ένα παράδειγμα για τη μέθοδο εκτίμησης πλήρους παθητικού καναλιού είναι η χρήση του [142] του μοτίβου ανάκλασης RIS που βασίζεται σε ON/OFF αλλά απαιτεί $N+10$ συντελεστές καναλιού και σημαντική απώλεια ισχύος ανάκλασης. Μια άλλη εφαρμόσιμη μέθοδος με την ομαδοποίηση των γειτονικών στοιχείων RIS σε μικρότερες επιφάνειες RIS, έτσι, μόνο το αποτελεσματικό διαδοχικό κανάλι BS-RIS-User που σχετίζεται με κάθε μικρότερη επιφάνεια πρέπει να εκτιμηθεί, μειώνοντας έτσι σημαντικά την επιβάρυνση της εκπαίδευσης [108 , 143].



ΕΙΚΟΝΑ 20. Ασύρματη επικοινωνία υποβοηθούμενη από RIS με αισθητήρια στοιχεία (σχεδόν παθητικό RIS)

Στην περίπτωση συστημάτων πολλαπλών χρηστών MIMO/MISO, το κόστος εκπαίδευσης θα είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με το SISO ενός χρήστη. Για να το χειριστεί αυτό, ορισμένα χαρακτηριστικά καναλιού RIS (όπως η χωρική συσχέτιση, η αραιότητα και η χαμηλή κατάταξη) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κάνουν τη διαδοχική διαίρεση καναλιού ευκολότερη και να μειώσουν την επιβάρυνση της εκπαίδευσης [144]. Οι συγγραφείς στο [145] χρησιμοποίησαν αλγόριθμους βαθιάς μάθησης και αναζήτησης για να επιταχύνουν την εκπαίδευση για την εκτίμηση καναλιών. Οι συγγραφείς στο [146] εκμεταλλεύτηκαν το γεγονός ότι όλοι οι χρήστες μοιράζονται το ίδιο κανάλι RIS-BS στην uplink για να λάβουν ελάχιστη επιβάρυνση

εκπαίδευσης $(U - 1)N$ έναντι $U + N + \max(U - 1, [])$ όπου U είναι ο αριθμός των ενεργών χρηστών δηλαδή A , B και AB είναι ο αριθμός των κεραιών στο σταθμό βάσης. Επιπλέον, ο [147] χρησιμοποίησε τον πλεονασμό της ύπαρξης περισσότερων υποφορέων OFDM από τον αριθμό των καθυστερημένων διαδρομών στο σχεδιασμό πιλοτικών συμβόλων που βασίζονται στο OFDM για να εκτιμήσει αποτελεσματικά τα κανάλια πολλών χρηστών ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, με την εκμετάλλευση του κοινού καναλιού BS-RIS και των καναλιών RIS-User κυρίαρχων LoS. Αποδείχθηκε ότι $N + 10$ σύμβολα OFDM απαιτούνται για την εκτίμηση των διαδοχικών καναλιών έως και $(N + 1)(K + L)$ χρήστες ταυτόχρονα. Όπου L είναι ο αριθμός των πολλαπλών διαδρομών και K είναι ο αριθμός των υποφορέων.

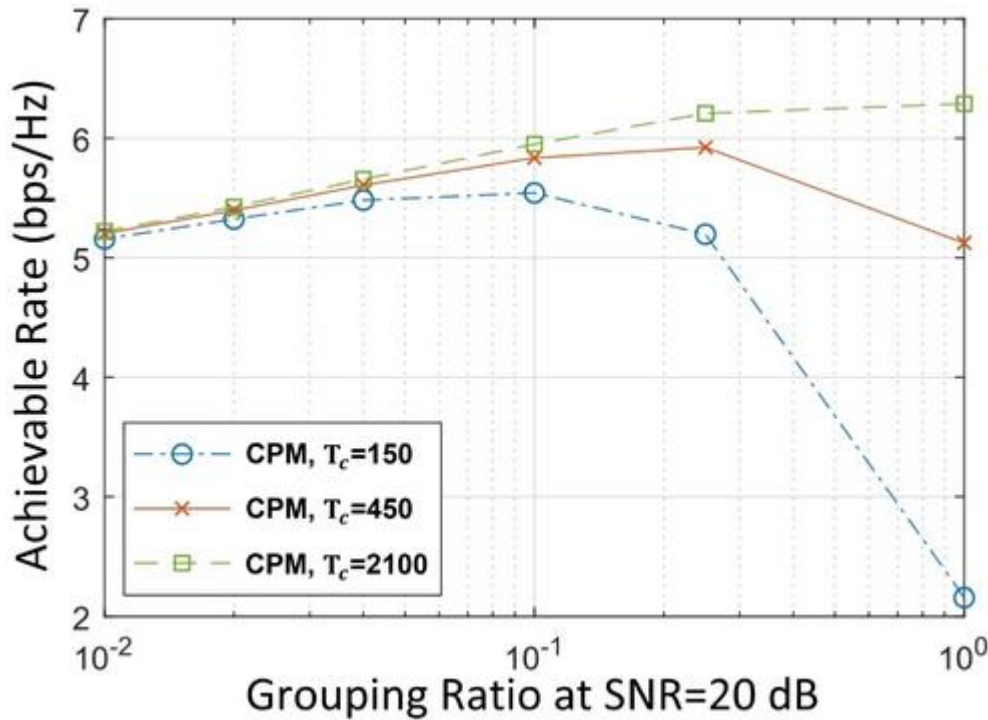
Εκτίμηση καναλιού: Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας

Οι συγγραφείς στο [149] εξετάζουν την εξέλιξη της ιδέας του ανακλαστικού ασύρματου συνδέσμου σε RIS, καθώς και το υποβοηθούμενο από RIS μοντέλο επικοινωνίας MISO και πώς διαφέρει από τα παραδοσιακά μοντέλα επικοινωνίας πολλαπλών κεραιών. Για το σχεδιασμό και τη μελέτη συστημάτων υποβοηθούμενων από RIS, προτάθηκε μια τεχνική εκτίμησης καναλιών με βάση το MMSE. Το BS δίνει εντολή στον μικροελεγκτή να κρατά όλα τα στοιχεία RIS απενεργοποιημένα καθ' όλη τη φάση εκτίμησης καναλιού και το BS υπολογίζει το άμεσο κανάλι για όλους τους χρήστες. Στη συνέχεια, το BS στέλνει ένα σήμα στον μικροελεγκτή για να ενεργοποιήσει το στοιχείο n του RIS ενώ αφήνει τα άλλα στοιχεία OFF, επιτρέποντας στο BS να ξεκινήσει την εκτίμηση του διαδοχικού καναλιού. Ως αποτέλεσμα, ο μικροελεγκτής δίνει οδηγίες στην πλακέτα κυκλώματος ελέγχου του RIS στο Σχήμα 3α για να εκτελέσετε την απαιτούμενη ακολουθία και ούτω καθεξής. Για τον υπολογισμό των εκτιμήσεων χρησιμοποιείται η μέθοδος εκτίμησης MMSE. Στη συνέχεια, το BS υπολογίζει το βέλτιστο διάνυσμα διαμόρφωσης δέσμης εφαρμόζοντας τις εκτιμήσεις καναλιών και το μεταδίδει στον μικροελεγκτή RIS. Χρησιμοποιώντας τα εκτιμώμενα κανάλια (άμεσες και διαδοχικές), οι μετατοπίσεις φάσης του RIS συντονίζονται χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο ανόδου κλίσης.

Παρόμοια με το [149], οι συγγραφείς στο [150] περιγράφουν έναν μοναδικό παθητικό έξυπνο επιφανειακό μηχανισμό μεταφοράς ενέργειας με τη βοήθεια PIS από έναν φάρο ισχύος πολλαπλών κεραιών (PB) σε έναν χρήστη που συγκεντρώνει ενέργεια με μία κεραία. Προτάθηκε ένα ελεγχόμενο πρωτόκολλο εκτίμησης καναλιού LS με δυαδική

ανάκλαση. Αυτό το δυαδικό μοντέλο χρησιμοποιείται επειδή εξηγεί το γεγονός ότι μια παθητική ευφυής επιφάνεια (PIS) στερείται ενεργών στοιχείων, αναγκάζοντας το PB να εκτιμήσει όλα τα διανύσματα καναλιού από μόνο του. Οι προαναφερθείσες εργασίες απαιτούν τουλάχιστον $N+1$ πιλοτικά σύμβολα για την πρόβλεψη του συνόλου $N+1$ συντελεστές καναλιού στο σύστημα. Επειδή μόνο ένα στοιχείο είναι ενεργοποιημένο κάθε φορά, η ρύθμιση ανάκλασης RIS που βασίζεται σε ON/OFF υποφέρει από σημαντικές απώλειες ισχύος ανάκλασης, με αποτέλεσμα ένα ασθενές ανακλώμενο σήμα.

Διαφορετικά από την παραπάνω έρευνα εργασίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 17 (πάνω από το οποίο τα κανάλια RIS συσχετίζονται τυπικά χωρικά), οι συγγραφείς στο [122, 148] ανέπτυξαν μια αποτελεσματική μέθοδο ομαδοποίησης γειτονικών στοιχείων RIS σε μια υποεπιφάνεια, που αναφέρεται ως ομαδοποίηση στοιχείων RIS. Συνεπώς, χρειάζεται να υπολογιστεί μόνο το αποτελεσματικό καταρράκτη κανάλι χρήστη RIS-BS που συνδέεται με κάθε υποεπιφάνεια, μειώνοντας σημαντικά την επιβάρυνση της εκπαίδευσης και απλοποιώντας τη διαμόρφωση ανάκλασης RIS για τη μετάδοση δεδομένων. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο χρόνος συνοχής του καναλιού έχει σημαντικό αντίκτυπο στην κατάλληλη αναλογία ομαδοποίησης για πρακτική εφαρμογή. Η ανοδική και πτωτική τάση του επιτεύξιμου ρυθμού δεδομένων στο Σχήμα 21 είναι ένα προφανές παράδειγμα της επίδρασης του λόγου ομαδοποίησης στον ρυθμό δεδομένων σε καθεστώς υψηλού SNR.



ΕΙΚΟΝΑ 21. Επιτυγχάσιμο ποσοστό έναντι ομαδοποίησης RIS [148]

Παρόμοια με το [122, 148] οι συγγραφείς στο [151, 152] μελέτησαν την εκτίμηση καναλιού για το ευρυζωνικό σύστημα αλλά για πολλούς χρήστες. Οι συγγραφείς στο [151] πρότειναν δύο αποδοτικούς αλγόριθμους εκτίμησης καναλιών για διάφορες διαμορφώσεις καναλιών σε ένα σύστημα ευρυζωνικής επικοινωνίας πολλαπλών χρηστών υποβοηθούμενο από RIS χρησιμοποιώντας πολλαπλή πρόσβαση με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας (OFDMA). Το σχήμα εκτίμησης καναλιών διαδοχικού χρήστη (SeUCE) μπορεί να υποστηρίξει περισσότερους χρήστες για την εκτίμηση καναλιού από το σχήμα εκτίμησης καναλιών ταυτόχρονου χρήστη (SiUCE) αξιοποιώντας το πλεονέκτημα ότι όλοι οι χρήστες έχουν το ίδιο κανάλι RIS-AP, αλλά με κόστος αυξημένου καναλιού πολυπλοκότητα εκτίμησης και κάποια μειωμένη απόδοση εκτίμησης καναλιών. Οι συγγραφείς στο [152] περιγράφει μια λύση CE που βασίζεται σε ανίχνευση συμπίεσης (CS) για συστήματα MIMO με τεράστια μήκη mm-Wave με τη βοήθεια RIS, όπου η αραιότητα γωνιακού καναλιού της μεγάλης κλίμακας συστοιχίας σε mm-Wave χρησιμοποιείται για βελτιωμένη CE με μειωμένη επιβάρυνση πιλότου. Οι συγγραφείς αναπτύσσουν πιλοτικά σήματα με βάση την προηγούμενη γνώση του καναλιού πομπού-προς-RIS που κυριαρχείται από οπτική επαφή, καθώς και την προηγούμενη εμπειρία των καναλιών πομπού προς δέκτη και RIS-προς-δέκτη υψηλών διαστάσεων χρησιμοποιώντας συμπιεσμένη ανίχνευση τεχνικές. Για να

επωφεληθείτε από την αραιότητα του καναλιού, χρησιμοποιείται μια κατανεμημένη ορθογώνια μέθοδος αναζήτησης αντιστοίχισης. Ως αποτέλεσμα, αρκετοί συγγραφείς [153 - 159] αξιοποίησαν τα χαρακτηριστικά καναλιού RIS (όπως χαμηλή κατάταξη, αραιότητα και χωρική συσχέτιση) για να απλοποιήσετε την καταρράκτη αποσύνθεση των καναλιών και να μειώσετε την επιβάρυνση της εκπαίδευσης σε συστήματα MIMO/MISO ενός χρήστη με τη βοήθεια RIS. Από την άλλη πλευρά, οι συγγραφείς στο [160 - 163] χρησιμοποίησαν τις ίδιες ιδιότητες καναλιού για να διερευνήσουν την εκτίμηση καναλιού στα συστήματα MISO/MIMO πολλών χρηστών.

Για να επιταχυνθεί η διαδικασία εκπαίδευσης σε παθητικά συστήματα MIMO και MISO με τη βοήθεια RIS, έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης και ιεραρχικής αναζήτησης για την εκτίμηση καναλιών [164-167].

Διαφορετικά από τα προαναφερθέντα έργα, οι συγγραφείς στο [168 - 171] εκμεταλλεύτηκαν ορισμένα αισθητήρια στοιχεία που συμπλέκονται με τα παθητικά στοιχεία RIS για να παρέχουν στο RIS δυνατότητες ανίχνευσης για τη διαδικασία εκτίμησης καναλιών σύμφωνα με το Σχήμα 20. Σε αντίθεση με την εκτίμηση του πλήρως παθητικού καναλιού RIS, το σχεδόν παθητικό RIS έχει δύο τρόπους λειτουργίας. Όλα τα ανακλαστικά στοιχεία διατηρούνται απενεργοποιημένα στον πρώτο τρόπο λειτουργίας ή ονομάζονται λειτουργία ανίχνευσης, επιπλέον τα αισθητήρια στοιχεία ενεργοποιούνται για να λαμβάνουν πιλοτικά σήματα από το BS ή τους χρήστες στην κάτω ή στην άνω ζεύξη για την εκτίμηση των αντίστοιχων καναλιών τους προς το RIS, ενώ στη δεύτερη λειτουργία ή ονομάζεται λειτουργία ανάκλασης ή μετάδοσης, οι αισθητήρες απενεργοποιούνται και τα ανακλαστικά στοιχεία RIS ενεργοποιούνται για να αντανακλούν τα σήματα δεδομένων από το BS ή τους χρήστες για τη βελτίωση της επικοινωνίας κατερχόμενης και ανοδικής ζεύξης και στα δύο.

Οι συγγραφείς στο [168] παρουσίασαν ένα νέο πλαίσιο μάθησης βαθιάς ενίσχυσης για την εκτίμηση των πινάκων ανάκλασης RIS διδάσκοντας στο RIS πώς να προβλέπει τους βέλτιστους πίνακες αλληλεπίδρασης χρησιμοποιώντας τη γνώση του καναλιού δειγματοληψίας από μόνη της. Σε αντίθεση με τις εποπτευόμενες μεθόδους που βασίζονται στη μάθηση, αυτή η τεχνική δεν απαιτεί ένα αρχικό βήμα συλλογής δεδομένων.

Συζητήσεις και διορατική προοπτική για το τμήμα IV

Συνοψίζοντας την παραπάνω ενότητα, παρουσιάστηκε μια λεπτομερής εξήγηση για τους διάφορους τύπους εκτίμησης καναλιών σε διαφορετικά περιβάλλοντα συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας. Ο Πίνακας 6 συνοψίζει σε κάποιο βαθμό την καλή βιβλιογραφία για την εκτίμηση καναλιών λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές παραμέτρους επικοινωνίας. Η πιλοτική μετάδοση και η εκτίμηση καναλιού δεν καλύπτονται πλήρως στη βιβλιογραφία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Περίληψη της υπάρχουσας εργασίας των μεθόδων και τεχνικών εκτίμησης καναλιών

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Πρακτικό μοντέλο μετατόπισης φάσης	Παθητικότητα RIS	Πρωτόκολλο εκτίμησης καναλιών
[149]	MISO πολλαπλών χρηστών	Διακεκριμένη	Πλήρης	Διαδικασία εκτίμησης καναλιού με βάση το ελάχιστο μέσο τετράγωνο σφάλμα (MMSE)
[162]	Από σημείο σε σημείο MISO	Διακεκριμένη	Πλήρης	Πρωτόκολλο LS CE με δυαδική ανάκλαση (πλήρη ή όχι)
[88]	OFDM ενισχυμένο με RIS ενός χρήστη	Συνεχής	Πλήρης	Παρεμβολή με βάση το DFT/IDFT για την εκτίμηση του καναλιού
[87]	OFDM βάσει RIS ενός χρήστη	Διακεκριμένη	Πλήρης	Ο κρατικός έλεγχος ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των ανακλαστικών

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Πρακτικό μοντέλο μετατόπισης φάσης	Παθητικότητα RIS	Πρωτόκολλο εκτίμησης καναλιών
				στοιχείων του RIS
[151]	Uplink OFDMA πολλαπλών χρηστών	Συνεχής	Πλήρης	Η εκτίμηση διαδοχικού καναλιού χρήστη
[152]	MIMO πολλαπλών χρηστών mm-Wave μαζικό	Συνεχής	Πλήρης	Διάλυμα CE που βασίζεται σε ανίχνευση συμπίεσης (CS).
[153]	MISO κυμάτων mm ενός χρήστη	Συνεχής	Πλήρης	Εκτίμηση καναλιού βάσει συμπίεσμνης ανίχνευσης
[154]	Ογκώδες σύστημα MIMO με τη βοήθεια ενός χρήστη LIM	Συνεχής	Πλήρης	Μια εκτίμηση μικτού καναλιού δύο σταδίων. Η μέθοδος JBF-MC (κοινή διαγραμμική παραγοντοποίηση και συμπλήρωση πίνακα)
[155]	Σύστημα MIMO με υποστήριξη	Συνεχής	Πλήρης	Ένα μοντέλο με παράλληλους παράγοντες

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Πρακτικό μοντέλο μετατόπισης φάσης	Παθητικότητα RIS	Πρωτόκολλο εκτίμησης καναλιών
	RIS ενός χρήστη			(PARAFAC) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των εμπλεκόμενων καναλιών επικοινωνίας
[156]	Σύστημα MIMO με δυνατότητα RIS ενός χρήστη	Συνεχής	Πλήρης	Μια διαγραμμική προσαρμοστική διανυσματική μέθοδος κατά προσέγγιση μετάδοσης μηνυμάτων (BADVAMP) με μια παραδοσιακή τεχνική ανοδικής ζεύξης εκπαίδευσης
[157]	Σύστημα mm-Wave MIMO με υποστήριξη RIS ενός χρήστη	Συνεχής	Πλήρης	Οι παράμετροι του καναλιού εκτιμώνται διαδοχικά χρησιμοποιώντας μια επαναληπτική επανασταθμισμένη τεχνική
[158]	RIS υποβοηθούμενη με SISO	Συνεχής	Πλήρης	Μια μέθοδος απόκτησης πληροφοριών καναλιού χαμηλής

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Πρακτικό μοντέλο μετατόπισης φάσης	Παθητικότητα RIS	Πρωτόκολλο εκτίμησης καναλιών
				πολυπλοκότητας χρησιμοποιώντας τη σπανιότητα του καναλιού και τη θέση της UE
[159]	Ενός χρήστη MISO	Συνεχής	Πλήρης	Μέθοδος εκτίμησης καναλιών με βάση συμπιεσμένη αντίχνευση
[160]	Ένα σύστημα MIMO πολλαπλών χρηστών με τη βοήθεια RIS	Συνεχής	Πλήρης	Οι προσεγγίσεις CS χρησιμοποιούνται για την επίλυση ενός προβλήματος ανάκτησης μήτρας αραιού καναλιού
[161]	Ένα σύστημα MIMO πολλαπλών χρηστών με τη βοήθεια RIS	Συνεχής	Πλήρης	Σύστημα μετάδοσης διπλής ζεύξης
[162]	Πολλαπλών χρηστών	Συνεχής	Πλήρης	Μια αραιή παραγοντοποίηση

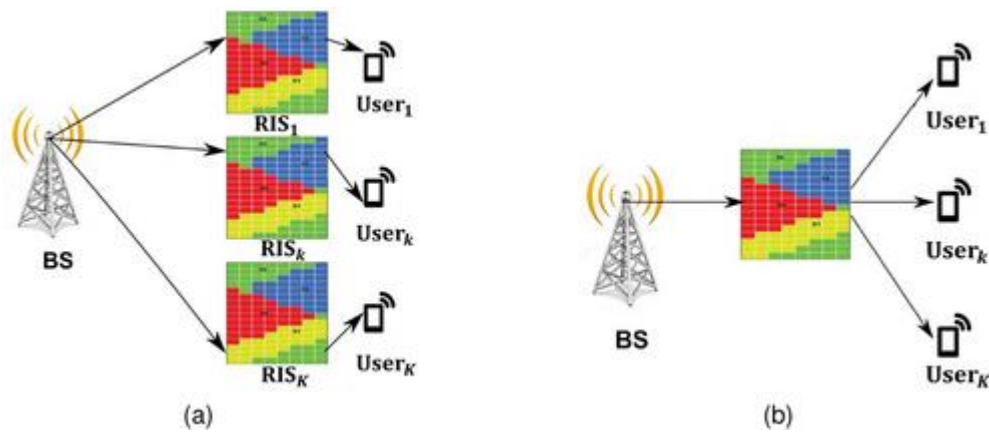
Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Πρακτικό μοντέλο μετατόπισης φάσης	Παθητικότητα RIS	Πρωτόκολλο εκτίμησης καναλιών
	MIMO			μήτρας βασισμένη σε βαθμονόμηση μήτρας
[163]	Πολλαπλών χρηστών MISO	Συνεχής	Πλήρης	Μέθοδος που βασίζεται στην αποσύνθεση παράλληλου παράγοντα (PARAFAC)
[164]	Ενός χρήστη μαζική MIMO με υποβοήθηση RIS	Συνεχής	Πλήρης	Σχεδιασμός ιεραρχικού βιβλίου κωδικών αναζήτησης (βάση χαμηλής πολυπλοκότητας της εκπαίδευσης δέσμης)
[165]	Πολλαπλών χρηστών μαζική MIMO με υποβοήθηση RIS	Συνεχής	Πλήρης	Μια προσέγγιση συνεργατικής εκτίμησης καναλιών βάσει εκπαίδευσης δέσμης για συστήματα MIMO υποβοηθούμενα από RIS
[166]	MISO με τη βοήθεια RIS	Συνεχής	Πλήρης	Ανιχνευτής που βασίζεται σε DL βαθιάς μάθησης, που

Αναφορά	Ρύθμιση επικοινωνίας	Πρακτικό μοντέλο μετατόπισης φάσης	Παθητικότητα RIS	Πρωτόκολλο εκτίμησης καναλιών
	ενός χρήστη			ονομάζεται (Deep RIS) για εκτιμήσεις καναλιών
[167]	Πολλαπλός χρήστης mm-Wave μαζική MIMO	Συνεχής	Πλήρης	Σχήμα βάσεων βαθιάς μάθησης (Ένα δίδυμο συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (CNN))
[168-170]	Σύστημα βασισμένο σε OFDM ενός χρήστη	Συνεχής	Σχεδόν παθητικό	Βαθιά ενισχυτική μάθηση και ανίχνευση με συμπίεση με βάση το RIS
[171]	Ενός χρήστη SISO	Διακριτή	Σχεδόν παθητικό	Μια μέθοδος για ρητή εκτίμηση καναλιών που χρησιμοποιεί εναλλασσόμενη βελτιστοποίηση

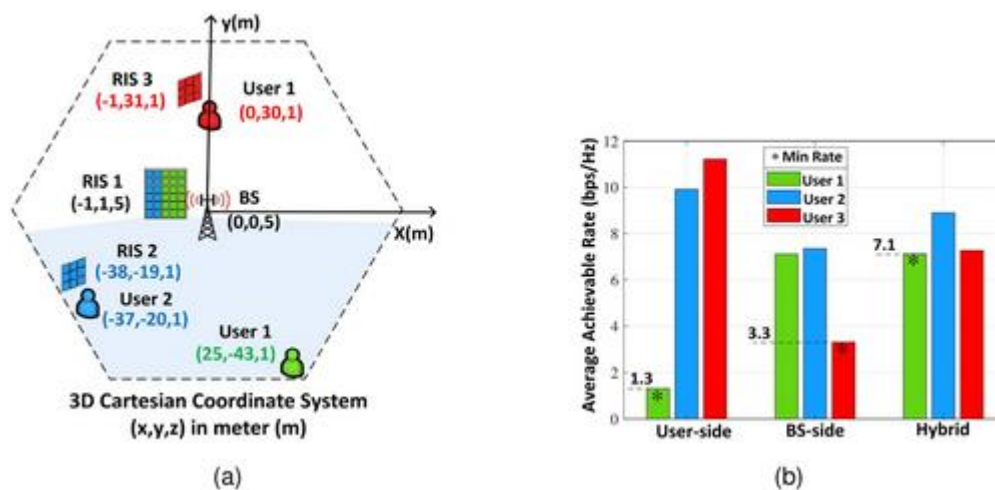
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΠΤΥΞΗ RIS

5.1. Γιατί είναι σημαντική η τοποθεσία των RIS;

Το RIS λειτουργεί μόνο με παθητικές ανακλάσεις σε λειτουργία FD, αποφεύγοντας την ενίσχυση, το θόρυβο επεξεργασίας και την αυτοπαρέμβαση. Αυτές οι ελκυστικές ιδιότητες των RIS οδήγησαν σε εκτεταμένη έρευνα σχετικά με τη χρήση τους για τη σημαντική βελτίωση της απόδοσης των ασύρματων συστημάτων σε διάφορα σενάρια, όπως NOMA πολλαπλών χρηστών, WPT, ασφάλεια φυσικού επιπέδου, επικοινωνία πολλαπλών φορέων, πολλαπλών κεραιών και MEC [3,6,13]. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, τα RIS αναπτύσσονται συνήθως κοντά σε κατανεμημένους χρήστες για τη βελτίωση της τοπικής κάλυψης. Αυτό διαφέρει αρκετά από την περίπτωση των ενεργών αναμεταδοτών, οι οποίοι βρίσκονται σχεδόν κεντρικά μεταξύ πομπού και δέκτη για να εξισορροπήσουν το SNR της ζεύξης δύο βημάτων, η οποία επεξεργάζεται και ενισχύει το σήμα πηγής πριν το μεταδώσει στον δέκτη. Μια άλλη επιλογή είναι η τοποθέτηση του RIS κοντά στο σταθμό βάσης, όπως φαίνεται στα σχήματα 23α και 23β. Στην περίπτωση αυτή, και οι δύο μέθοδοι τοποθέτησης ελαχιστοποιούν την απώλεια διαδρομής από απόσταση προϊόντος αξίζει να σημειωθεί ότι το RIS μπορεί να αναπτυχθεί ευρέως σε όλο το δίκτυο λόγω του χαμηλού κόστους του και μπορεί να τροποποιήσει αποτελεσματικά τη διάδοση του σήματος. Ωστόσο, αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το RIS είναι μια παθητική συσκευή και επομένως η ισχύς του ανακλώμενου σήματος μειώνεται ραγδαία με την απόσταση, δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις βελτιστοποίησης της ανάπτυξης σε μεγάλη κλίμακα, οι οποίες είναι πολύ πιο δύσκολο να αντιμετωπιστούν. Επομένως, εάν οι RIS τοποθετηθούν αρκετά μακριά μεταξύ τους, η αμοιβαία παρεμβολή είναι σχεδόν ανύπαρκτη και ο σχεδιασμός της ανάπτυξης απλοποιείται σημαντικά λόγω της παθητικής φύσης των RIS.



ΕΙΚΟΝΑ 22. Μέθοδοι ανάπτυξης RIS, (α) Κεντρική ανάπτυξη RIS, (β) Κατακεντρωμένη ανάπτυξη RIS



ΕΙΚΟΝΑ 23. Οι τρεις τυπικοί επιτεύξιμοι ρυθμοί από τους χρήστες, καθώς και ο ελάχιστος ρυθμός τους, δεδομένων των διαφόρων τεχνικών ανάπτυξης RIS [172], (α) Ρύθμιση προσομοίωσης συστήματος, (β) Μέθοδος επιτεύξιμου ρυθμού έναντι ανάπτυξης

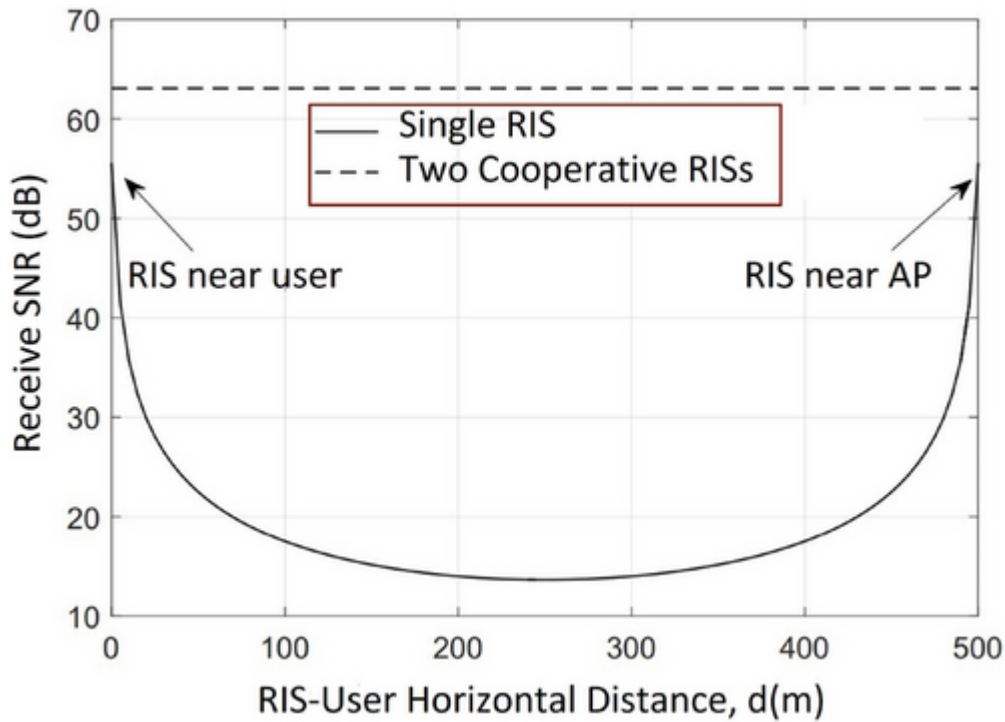
Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα είναι ότι για να είναι πραγματικά επιτυχημένο ένα RIS, πρέπει να αναπτυχθεί σωστά. Θα πρέπει να εγκατασταθεί σε ένα σημείο με LoS στο σημείο πρόσβασης και μπορεί στη συνέχεια να ρυθμιστεί ώστε να αυξάνει σημαντικά τον ρυθμό πληροφοριών για τους χρήστες εντός του LoS.

5.2. Ανάπτυξη RIS: Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας

Σε αυτό το μέρος της εργασίας, εξετάζουμε τα νέα προβλήματα ανάπτυξης του RIS σε διάφορα σενάρια για να λάβουμε πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την πρακτική σχεδίαση, την απόδοση διαμόρφωσης δέσμης και την κάλυψη.

Οι συγγραφείς στο [172] αντιμετωπίζει το κρίσιμο θέμα του τρόπου τοποθέτησης RIS σε ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας για μέγιστη απόδοση. Όσον αφορά τις διαφορετικές μετρήσεις απόδοσης επικοινωνίας, αξιολογούνται οι δύο παραδοσιακές τεχνικές εγκατάστασης RIS στο BS ή σε κατανεμημένους χρήστες και στη συνέχεια προτείνεται μια νέα προσέγγιση ανάπτυξης υβριδικού RIS που συνδυάζει τα συνεργατικά τους οφέλη. Στην πρόταση εγκατάστασης του υβριδικού RIS περιλαμβάνεται ένας ανακλαστικός σύνδεσμος μεταξύ RIS τόσο του RIS της πλευράς BS όσο και του καθενός από τους RIS της πλευράς χρήστη. Όταν παρεμποδίζονται σημαντικά τόσο οι άμεσες όσο και οι συνδέσεις απλής ανάκλασης μεταξύ του BS και των εξυπηρετούμενων χρηστών του, οι σύνδεσμοι διπλής ανάκλασης μπορούν να αξιοποιηθούν για να παρέχουν εναλλακτικές προσβάσιμες N διαδρομές LoS μεταξύ τους παρά το γεγονός ότι το N αυξάνεται κατά $(N*4)$ εναντίον $(N*4)$. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν την ανώτερη απόδοση της προτεινόμενης ανάπτυξης σε σχέση με τις συμβατικές σύμφωνα με το Σχήμα 23. Επειδή όλοι οι χρήστες μπορεί να εξυπηρετούνται από τουλάχιστον ένα RIS, που βρίσκεται είτε στην πλευρά του χρήστη είτε στην πλευρά BS, κάτω από την ανάπτυξη του υβριδικού RIS, δείχνει την αυξημένη του αποτελεσματικότητα όσον αφορά την κάλυψη δικτύου.

Οι συγγραφείς [173-176] χρησιμοποιούν ένα συντονισμένο σχήμα RIS για να ξεπεράσουν το αυτόνομο RIS, το οποίο επωφελείται από την τοποθέτηση πολλαπλών RIS κοντά στο χρήστη ή το σταθμό βάσης και έχει μικρότερο κέρδος όταν τοποθετείται μακριά από το σταθμό βάσης ή τον εξοπλισμό του χρήστη. Το Σχήμα 24 δείχνει ότι το αυτόνομο RIS παρέχει το υψηλότερο SNR όταν το RIS τοποθετείται κοντά στο χρήστη ή το AP, αλλά παρέχει το χαμηλότερο SNR όταν τοποθετείται μεταξύ του χρήστη και του AP. Από την άλλη πλευρά, δύο συντονισμένα RIS παρέχουν σημαντικά καλύτερα SNR σε σύγκριση με τα υψηλότερα SNR στο σενάριο του μεμονωμένου RIS.



ΕΙΚΟΝΑ 24. Ληφθέν SNR έναντι $d(m)$ [3]

Οι συγγραφείς στο [173] συμβάλλουν στην τρέχουσα έρευνα προτείνοντας και αξιολογώντας ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας που βασίζεται σε ένα σχήμα επικοινωνίας διπλής RIS. Αναπτύσσεται ένας συνδυασμένος σχεδιασμός παθητικής διαμόρφωσης δέσμης για δύο RIS υπό την εύλογη υπόθεση ότι το ανακλώμενο κανάλι από το πρώτο RIS στο δεύτερο RIS είναι πρώτης τάξης. Αύξηση ισχύος της τάξης (N^4), μπορεί να επιτευχθεί με την ανάπτυξη δύο συνεργατικών RIS με σύνολο N εξαρτημάτων, το οποίο είναι ανώτερο από την εγκατάσταση ενός συνηθισμένου RIS με κέρδος ισχύος επιπέδου (N^2). Τα προσομοιωμένα ευρήματα δείχνουν ότι η δημιουργία δύο συνεργαζόμενων RIS αποδίδει πολύ καλύτερα από την ανάπτυξη ενός RIS με τον ίδιο συνολικό αριθμό στοιχείων. Η προσομοίωση δείχνει ότι όταν αναπτύσσονται δύο συνεργατικά RIS, η απόδοσή τους είναι χαμηλότερη από ό,τι όταν αναπτύσσεται μόνο ένα RIS. Ωστόσο, όταν ο συνολικός αριθμός των στοιχείων είναι μεγάλος, όπως πχ $N=1600$, η χρήση RIS δύο συνεταιρισμών αντί για ένα μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά κέρδη απόδοσης. Ένα άλλο σημείο που πρέπει να προσέξετε είναι ότι η αύξηση του συνολικού αριθμού στοιχείων κατά δύο, για παράδειγμα, από $N=800$ προς την $N=1600$, αυξάνει το λαμβανόμενο SNR της περίπτωσης αναφοράς με ένα RIS κατά 6 dB, ενώ αυξάνει το λαμβανόμενο SNR της περίπτωσης δύο RIS με $N/2$ κατά 12 dB.

Παρόμοια με το [173], οι συγγραφείς στο [175] διερευνούν αποτελεσματικές λύσεις εκτίμησης καναλιών και παθητικής διαμόρφωσης δέσμης για ένα σύστημα επικοινωνίας ενός και πολλαπλών χρηστών βοηθούμενο από ένα διπλό RIS. Στο [174] οι συγγραφείς εξετάζουν ένα συνεργατικό σχέδιο παθητικής διαμόρφωσης δέσμης για ένα MIMO πολλαπλών χρηστών υποβοηθούμενο από διπλό RIS που συλλαμβάνει το πολλαπλασιαστικό κέρδος διαμόρφωσης δέσμης του καναλιού inter-RIS. Ο εποικοδομητικός σχηματισμός δέσμης δέκτη στον BS και οι συνεργατικές παθητικές ανακλαστικές δέσμες στον BS και σε δύο καταναμεημένα RIS που είναι τοποθετημένα κοντά στον BS και τον χρήστη, αντίστοιχα, βελτιστοποιούνται σε μια γενική δομή καναλιού με διπλές και μονές ανακλαστικές συνδέσεις για να βελτιωθεί το ελάχιστο SINR για όλο τον εξοπλισμό χρήστη. Στις προσομοιώσεις, χρησιμοποιήθηκε μέγιστη ισχύς $P = 30\text{dBm}$ για να διερευνηθεί η επίδραση της διάταξης του καναλιού και του κέρδους χωρικής πολυπλεξίας στην απόδοση του συστήματος πολλαπλών χρηστών και διαπιστώθηκε ότι το διπλό RIS υπερτερεί έναντι του απλού RIS όσον αφορά τον μέγιστο επιτεύξιμο ρυθμό δεδομένων για έναν χρήστη.

Οι ερευνητές στο [176] πρότειναν ένα ραδιοδίκτυο που αποτελείται από πολλαπλές αναδιαμορφώσιμες έξυπνες επιφάνειες RIS που υποστηρίζουν τη μετάδοση μεταξύ ενός σταθμού βάσης πολλαπλών κεραιών και ενός συνόλου χρηστών ακραίων κυττάρων μίας κεραίας. Οι συγγραφείς στοχεύουν στη βελτιστοποίηση του σταθμισμένου αθροίσματος ρυθμού όλων των χρηστών άκρων κυψέλης προσαρμόζοντας από κοινού τη διαμόρφωση δέσμης μετάδοσης BS και τη μετατόπιση φάσης RIS. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης για πολλά συστήματα δείχνουν το σταθμισμένο ως προς την ισχύ μετάδοσης άθροισμα (WSR). Αρχικά, το WSR όλων των σχημάτων αυξάνεται με την ισχύ BS, υποδεικνύοντας ότι το προτεινόμενο πολλαπλό RIS με συνεχή μετατόπιση φάσης είναι ανώτερο από το απλό RIS με συνεχή μετατόπιση φάσης όσον αφορά το WSR όταν ο προϋπολογισμός ισχύος μετάδοσης BS είναι μεγάλος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, στα συστήματα πολλαπλών RIS, η ύπαρξη του RIS κοντά στους χρήστες ελαχιστοποιεί τη διάδοση των παθήσεων, επιτρέποντας στους χρήστες ο ρυθμός δεδομένων να αυξηθεί λόγω του κέρδους παθητικής διαμόρφωσης δέσμης του RIS. Αυτό αποτελεί παράδειγμα της αξίας της χρήσης πολλών RIS για την αύξηση της απόδοσης του συστήματος.

Η αύξηση του αριθμού των RIS στη σύνδεση χρήστη-ΑΠ έχει ως αποτέλεσμα περισσότερες αντανάκλασεις μεταξύ των RIS, γεγονός που αυξάνει τις απώλειες διαδρομής, το κόστος οπισθοδρόμησης και την πολυπλοκότητα των δραστηριοτήτων που περιγράφονται ανωτέρω. Ωστόσο, η συνεργατική παθητική διαμόρφωση δέσμης με μεγάλο αριθμό RIS μπορεί να παρέχει τα μεγαλύτερα οφέλη της διαμόρφωσης δέσμης πολλαπλών διαδρομών.

Οι ερευνητές στο [80,177] αξιολόγησαν δύο εφικτές μεθόδους ανάπτυξης RIS για διαφορετικά αποδοτικά κανάλια μεταξύ χρηστών και AP: Η χωρητικότητα και το εύρος του επιτεύξιμου ρυθμού υπολογίζονται και για τις δύο μεθόδους ανάπτυξης με τη χρήση διαφορετικών αλγορίθμων πολλαπλής πρόσβασης, λαμβάνοντας υπόψη το κανάλι πολλαπλής πρόσβασης (MAC) ανοδικής ζεύξης. Αποδεικνύεται ότι σε συμμετρικές ρυθμίσεις καναλιού, η κεντρικά διαχειριζόμενη ανάπτυξη υπερτερεί της αποκεντρωμένης ανάπτυξης όσον αφορά τον προσπελάσιμο ρυθμό χρήστη και το εύρος χωρητικότητας. Με την εκμετάλλευση της δυαδικότητας μετάδοσης MAC (BC), τα αποτελέσματα επεκτάθηκαν στο κανάλι εκπομπής BC με τη βοήθεια του RIS, όπου το πλεονέκτημα απόδοσης της κεντρικής ανάπτυξης RIS σε σχέση με το κατανομημένο RIS αποδείχθηκε αληθές. Τα πλεονεκτήματα της ανάπτυξης του κεντρικού έναντι του διάσπαρτου RIS είναι ιδιαίτερα εμφανή όταν οι δύο χρήστες έχουν ασύμμετρες απαιτήσεις ρυθμού και συνθήκες καναλιού, σύμφωνα με αριθμητικά αποτελέσματα. Ωστόσο, σε πρακτικά σενάρια,

Ο έλεγχος ισχύος άνω ζεύξης ενός δικτύου IoT με τη βοήθεια RIS υπό τους περιορισμούς QoS σε κάθε χρήστη διερευνάται στο [178]. Ο στόχος είναι να μειωθεί η συνολική ισχύς του χρήστη με την ταυτόχρονη βελτιστοποίηση των μετατοπίσεων φάσης των στοιχείων που αντανάκλουν το RIS και τη λήψη μορφοποίησης δέσμης στο BS, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τον μοναδικό περιορισμό SINR κάθε χρήστη. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν την ποικιλομορφία του περιβάλλοντος εγκαθιστώντας πολλά RIS για να επιτύχουν σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση μέσω συνδυασμένης βελτιστοποίησης των μετατοπίσεων φάσης RIS και της διαμόρφωσης δέσμης λήψης. Συγκεκριμένα, κάθε RIS αποτελείται από N αντανάκλαστικά εξαρτήματα που μπορεί ανεξάρτητα να αντανάκλουν το προσπίπτον σήμα με ρυθμιζόμενη μετατόπιση φάσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποκαλύπτουν ότι όταν ο αριθμός των μονάδων RIS αυξάνεται από 1 σε 8, ο αλγόριθμος

εναλλασσόμενης βελτιστοποίησης βάσει πολλαπλής Riemannian (RM-AO) εξοικονομεί περίπου 4 dBm ισχύ εκπομπής στην περίπτωση ενός χρήστη. Επιπλέον, καθώς ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται, μπορεί να εξοικονομηθεί περισσότερη ισχύς μετάδοσης. Παρά τις προαναφερθείσες προσπάθειες και τις προόδους στη βελτιστοποίηση απόδοσης σε επίπεδο σύνδεσης για διαφορετικά ασύρματα συστήματα υποβοηθούμενα από RIS, η μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη των RIS σε ασύρματα δίκτυα μεγάλου μεγέθους απαιτεί μεθόδους και εργαλεία για τη βελτιστοποίηση των τεράστιων αναπτύξεων των πολλαπλών μονάδων RIS στο ασύρματο δίκτυο.

Οι συγγραφείς στο [78, 179, 180] προσφέρουν ένα αναλυτικό πλαίσιο για το υποβοηθούμενο υβριδικό δίκτυο RIS που βασίζεται στη στοχαστική γεωμετρία, ενώ οι συγγραφείς στο [181, 182] βασίζονται σε αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την επίλυση προβλημάτων κοινής ανάπτυξης RIS, σχεδίαση μετατόπισης φάσης, μετατόπιση φάσης, και κατανομή ισχύος σε ένα δίκτυο MISO NOMA για αύξηση της ενεργειακής απόδοσης λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες δεδομένων κάθε μεμονωμένου χρήστη.

Ο πίνακας 7 συνοψίζει τις διαφορετικές εφαρμογές RIS για διαφορετικά μοντέλα συστημάτων επικοινωνίας ενός χρήστη και πολλαπλών χρηστών, καθώς και τους στόχους και τα επιτεύγματα της ανάπτυξης RIS. Αποδεικνύεται ότι οι διάφορες μέθοδοι ανάπτυξης μπορούν να επιτύχουν ισορροπία μεταξύ της βελτίωσης των επιδόσεων από τη μια πλευρά και της πολυπλοκότητας /υπολογισμού /εκπαίδευσης /βελτιστοποίησης από την άλλη. Επιπλέον, το διαστασιολογικό μέγεθος των RIS (αριθμός στοιχείων RIS) και η διαδρομή LoS μεταξύ του πομπού και των RIS είναι σημαντικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό και την ανάπτυξη των RIS για να εξασφαλιστούν βελτιωμένες επιδόσεις και καλύτερες συνθήκες καναλιού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Περίληψη υφιστάμενων εργασιών ανάπτυξης RIS

Αναφορά	Μέθοδος ανάπτυξης RIS	Χρήστες	Κατόρθωμα
[168]	Υβριδικό με υιοθέτηση σχεδίασης IA-MS (διανέμεται κοντά στους χρήστες και το σταθμό βάσης)	SISO πολλών χρηστών	Ο ελάχιστος ρυθμός δεδομένων παρουσιάζει σημαντική βελτίωση σε σχέση με τις μεθόδους τοποθέτησης του RIS κοντά σε χρήστες ή κοντά στο σταθμό βάσης
[173]	Συνεταιριστικό διπλό RIS (κοντά σε σταθμό βάσης και χρήστη)	SISO ενός χρήστη	Βελτίωση της αύξησης ισχύος της τάξης (N 4) αντί (N 2)
[174]	Συνεταιριστικό διπλό RIS (κοντά σε σταθμό βάσης και χρήστες)	MIMO πολλαπλών χρηστών	Μεγιστοποίηση στο ελάχιστο SINR μεταξύ όλων των χρηστών
[175]	Συνεταιριστικό διπλό RIS (κοντά σε σταθμό βάσης και χρήστη)	SISO ενός χρήστη	Τα γενικά έξοδα εκπαίδευσης και το σφάλμα εκτίμησης καναλιού λαμβάνονται υπόψη, με αποτέλεσμα σημαντική βελτίωση του ποσοστού
[176]	Τέσσερις αριθμοί RIS κατανέμονται ομοιόμορφα στην άκρη της κυψέλης κοντά	MISO πολλαπλών χρηστών	Μεγιστοποίηση του σταθμισμένου αθροίσματος των χρηστών κινητής τηλεφωνίας

Αναφορά	Μέθοδος ανάπτυξης RIS	Χρήστες	Κατόρθωμα
[80, 177]	στο σταθμό βάσης Τόσο Κατανεμημένη όσο και Κεντρική	Δύο χρήστες SISO	Η κεντρική ανάπτυξη ξεπερνά την κατανεμημένη ανάπτυξη όσον αφορά τους πιθανούς ρυθμούς χρήστη κάτω από ρυθμίσεις συμμετρικών καναλιών
[178]	Πολλαπλά RIS κοντά στους χρήστες	SIMO πολλαπλών χρηστών	Συνδυάζοντας τις μετατοπίσεις φάσης των ανακλαστικών στοιχείων RIS με τη διαμόρφωση δέσμης λήψης στο BS, η συνολική ισχύς του χρήστη μειώνεται
[179]	Υβριδικό ενεργό και παθητικό ασύρματο δίκτυο OFDMA	Πολλαπλών χρηστών	Μεγιστοποιεί την απόδοση του υβριδικού δικτύου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η εξέταση διάφορων τεχνικών, που εξετάστηκαν σε αυτή την εργασία, αντιπροσωπεύουν ότι τα ασύρματα δίκτυα με υποβοήθηση από τα RIS μπορούν ανά πάσα στιγμή να βελτιώσουν σημαντικά την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος, να ενισχύσουν τη χωρητικότητα και τον ρυθμό αθροίσματος, να επεκτείνουν την κάλυψη δικτύου, να ελαχιστοποιήσουν την ισχύ μετάδοσης, να μειώσουν τις παρεμβολές και να παρέχουν καλύτερο επίπεδο ασφάλειας και ποιότητα υπηρεσίας σε πολλούς χρήστες. Ωστόσο, από την άποψη των επικοινωνιών, ο σχεδιασμός των ραδιοεπικοινωνιών με τη χρήση RIS παρουσιάζει νέες και μοναδικές προκλήσεις, όπως περιγράφεται παρακάτω:

1) Η παθητική ανάκλαση όλων των ανακλαστικών στοιχείων κάθε RIS πρέπει να κατασκευαστεί κατά τρόπο που να επιτρέπει τη συντονισμένη εστίαση του σήματος και την απόρριψη των παρεμβολών στη θέση των RIS. Από την άλλη πλευρά, οι παθητικές ανακλάσεις των RIS πρέπει να ενσωματωθούν σε συντονισμό με το BS ή τη μετάδοση του χρήστη για τη βελτίωση της επικοινωνίας από άκρο σε άκρο στο επανασχεδιασμένο ραδιοκανάλι RIS, ανεξάρτητα από το αν το αντίστοιχο RIS βρίσκεται κοντά σε κάθε χρήστη.

2) Η απουσία αλυσίδας ραδιοσυχνοτήτων καθιστά δύσκολη την απόκτηση του CSI που είναι απαραίτητο για την προαναφερθείσα βελτιστοποίηση της ανάκλασης RIS μεταξύ του RIS και του BS ή του χρήστη τροφοδοσίας. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα επειδή το RIS έχει συνήθως υψηλό ποσοστό ανακλαστικών στοιχείων, οπότε πρέπει να υπολογιστούν οι σχετικοί συντελεστές καναλιού.

3) Λόγω των διαφορετικών δομών συστοιχιών, παθητικών έναντι ενεργών, λειτουργικών μηχανισμών και ανάκλασης έναντι μετάδοσης ή λήψης, η καλύτερη δυνατή μέθοδος υλοποίησης των RIS σε ασύρματα δίκτυα για την επίτευξη της μέγιστης χωρητικότητας δικτύου παρατηρείται ότι είναι εξαιρετικά διαφορετική από αυτή για τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα με ενεργό BS, AP και ρελέ, και επομένως πρέπει να ελεγχθούν εκ νέου. Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση των RIS σε ασύρματα δίκτυα φέρνει αποτελεσματικά τόσο νέες δυνατότητες όσο και προβλήματα, τα οποία χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση.

Σε αυτή την ενότητα, θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε ορισμένες προκλήσεις του RIS που πιστεύουμε ότι χρειάζονται ακόμη περισσότερη μελέτη και διερεύνηση.

Νόμοι κλιμάκωσης και πέρα από το καθεστώς απομακρυσμένου πεδίου : Όταν η χωρητικότητα στενής ζώνης αυξήθηκε, το SNR με ένα RIS αυξάνεται όσο $2 \cdot N$ τη στιγμή που N μονοπάτια έχουν την ίδια απώλεια διάδοσης [16]. Η τετραγωνική κλιμάκωση SNR δεν συνεπάγεται ότι μπορεί να επιτευχθεί υψηλότερο SNR από ό,τι εάν το RIS αντικατασταθεί με μια δίκαιη συστοιχία κεραιάς που εκπέμπει στο ίδιο επίπεδο ισχύος με το RIS. Το SNR θα ήταν ανάλογο με $N/2$ στο τελευταίο σενάριο. Η κλιμάκωση SNR μπορεί να παραγοντοποιηθεί που λαμβάνεται από το RIS ως $2 \cdot N$ να αναγνωρίσει τη διαφορά. Ο πρώτος όρος αντιπροσωπεύει το ποσοστό της ισχύος σήματος του πομπού που ανακλάται από το RIS, το οποίο είναι ένα σχετικά μικρό ποσό ακόμη και όταν το N είναι μεγάλο. Κατά συνέπεια, τα RIS δεν μπορούν να επιτύχουν SNR υψηλότερο από αυτό. Κατά συνέπεια, η RIS πρέπει να είναι μεγαλύτερη προκειμένου να ανταγωνιστεί άλλες τεχνολογίες ενεργοποίησης [183] και οι περισσότερες από τις υπάρχουσες έρευνες σχετικά με την SRE με βάση την RIS χρησιμοποιούν την υπόθεση του μακρινού πεδίου. Από την άλλη πλευρά, τα RIS μπορούν να αποτελούνται από γεωμετρικά μεγάλες επιφάνειες αρκετών τετραγωνικών μέτρων. Αυτό σημαίνει ότι σε ακατάλληλα περιβάλλοντα εφαρμογών, όπως τα εσωτερικά περιβάλλοντα, οι RIS μπορούν να λειτουργούν στο πεδίο κοντινού πεδίου, κάτι που δεν αποτελεί κοινή υπόθεση σχεδιασμού στις ασύρματες επικοινωνίες, επειδή οι απώλειες διάδοσης των στοιχείων RIS μεταβάλλονται σημαντικά με την απόσταση και τη γωνία διάδοσης, αλλά η χρήση μεγάλων RIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία νέων ασύρματων δικτύων που λειτουργούν στο πεδίο κοντινού πεδίου. Το πιο σημαντικό είναι ότι επιτρέπει στα RIS κοντινού πεδίου να συγκεντρώνουν τα σήματα όχι μόνο σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση αλλά και σε μια συγκεκριμένη θέση στην κατεύθυνση αυτή, γεγονός που τα καθιστά ανώτερα από τα κάτοπτρα [184]. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της τοπικής προσαρμογής [185]. Οι θεμελιώδεις περιορισμοί επιδόσεων, οι απαιτήσεις σχεδιασμού και οι πιθανές χρήσεις και οφέλη της μετάδοσης κοντινού πεδίου σε SRE με τη βοήθεια RIS έχουν λάβει ελάχιστη προσοχή. Η περιοχή κοντινού πεδίου θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω λόγω των πιθανών εφαρμογών, όπως η υψηλή ικανότητα εστίασης.

Αμοιβαία σύζευξη: όταν τα τμήματα RIS στο υλικό του υποστρώματος βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, ο κατάλληλος διαχωρισμός καθίσταται δύσκολος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό αμοιβαίας σύζευξης, όπου η σύνθετη αντίσταση μιας συσκευής συνδυάζεται με τη σύνθετη αντίσταση μιας γειτονικής συσκευής. Ως αποτέλεσμα, το σχήμα 25α δείχνει πώς τα στοιχεία RIS δρουν μεμονωμένα, αλλά η απόκριση συχνότητας ποικίλλει ανάλογα με τη διάταξη των γειτονικών στοιχείων. Η αμοιβαία σύνθετη αντίσταση προσδιορίζεται με προσομοιώσεις πλήρους κύματος, όπως η μέθοδος των ροπών, και εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των στοιχείων. Ένα RIS που αποτελείται από κεραίες patch ή slot διαχωρίζει αποτελεσματικά το πλάτος και τη φάση του ανακλώμενου κύματος και παρέχει πλήρη έλεγχο διπλής φάσης η ισορροπία μεταξύ πολυπλοκότητας και απόδοσης όταν το RIS είναι πυκνό δεν μπορεί να προσδιοριστεί χωρίς κατάλληλη μοντελοποίηση της αμοιβαίας αντίστασης. Ως αποτέλεσμα, για να αποτυπωθεί η συμπεριφορά των RIS με εξαρτήματα σε κοντινή απόσταση, πρέπει να επινοηθούν νέες προσεγγίσεις μοντελοποίησης που δεν βασίζονται στην υπόθεση της κανονικής ελάχιστης σκέδασης (CMS)[16]. Η αμοιβαία σύζευξη θα επηρεάσει τόσο τον αλγοριθμικό σχεδιασμό από τη μία πλευρά όσο και την απόδοση επικοινωνίας και εντοπισμού από την άλλη πλευρά. Η επίδραση της αμοιβαίας σύζευξης σε εφαρμογές που βασίζονται σε IoT με τη βοήθεια RIS είναι αναπόφευκτη. Το RIS είναι πιο ωφέλιμο όταν ο αριθμός των στοιχείων του είναι μεγάλος, ωστόσο όταν η επιφάνεια είναι αρκετά μεγάλη (π.χ. 4096 στοιχεία, δηλαδή 2 Mtrs X 2 Mtrs), η αμοιβαία σύζευξη μεταξύ των γειτονικών στοιχείων θα επηρεάσει την πραγματική απόκριση των συντελεστών ανάκλασης όλων των στοιχείων που θα καταλήξει τελικά με την απώλεια της ανταμοιβής της τεχνολογίας RIS στη διαμόρφωση δέσμης ή την κατεύθυνση της κατεύθυνσης της δέσμης προς τον επιδιωκόμενο δέκτη. Για παράδειγμα, εάν το RIS έχει αναπτυχθεί σε LoS με τους πομπούς και τους δέκτες ενέργειας εκτός από τη χρήση του μεγάλου διαφράγματος και των εξαιρετικών κερδών παθητικής διαμόρφωσης δέσμης,

Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI): Πολλές έρευνες αγνοούν την ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (EMI) που υπάρχει αναπόφευκτα σε οποιοδήποτε περιβάλλον και αντ' αυτού εστιάζουν μόνο στα σήματα που παράγονται από το σύστημα [186]. Το EMI μπορεί να προκύπτει από μια σειρά φυσικών, σκόπιμων ή ακούσιων παραγόντων, όπως ανθρωπογενείς συσκευές και ακτινοβολία περιβάλλοντος από το περιβάλλον. Γενικά, κάθε μη ρυθμιζόμενη ασύρματη μετάδοση παράγει EMI

[187]. Η ενέργεια των κυμάτων EMI που χτυπούν το RIS στον χώρο μπροστά του είναι ανάλογη με την έκτασή του. Όταν η ενέργεια EMI ακτινοβοληθεί ξανά από το RIS, θα φτάσει στον επιδιωκόμενο δέκτη με αποτέλεσμα να υποβαθμιστεί το SNR από άκρο σε άκρο των ασύρματων δικτύων που δεν γνωρίζουν τέτοιες επιπτώσεις παρεμβολών. Η μείωση του SNR αποδίδεται στο γεγονός ότι τέτοια ασύρματα δίκτυα/συστήματα είναι απλά σχεδιασμένα να δρουν σκόπιμα μόνο ενάντια στον θερμικό θόρυβο που δημιουργείται από τον δέκτη. Ως αποτέλεσμα, το RIS πρέπει να έχει επίγνωση αυτού του επιζήμιου φαινομένου EMI σχεδιάζοντας αλγόριθμους με τη βοήθεια RIS διαμόρφωσης δέσμης που λαμβάνουν υπόψη το μη ελεγχόμενο EMI. Για παράδειγμα, πολλοί συγγραφείς [188] μελέτησαν τις δυνατότητες των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WPSN) που υποστηρίζονται από το RIS, όπου το RIS αναπτύσσεται για να βοηθήσει πολλαπλές συσκευές IOT να βελτιώσουν τις δυνατότητές τους συλλογής ενέργειας και μετάδοσης δεδομένων με έξυπνα ρυθμιζόμενες μετατοπίσεις φάσης. Κατά συνέπεια, δεν θα έχουμε σημαντική βελτιωμένη απόδοση απόδοσης με την παρουσία EMI και αμοιβαίας σύζευξης.

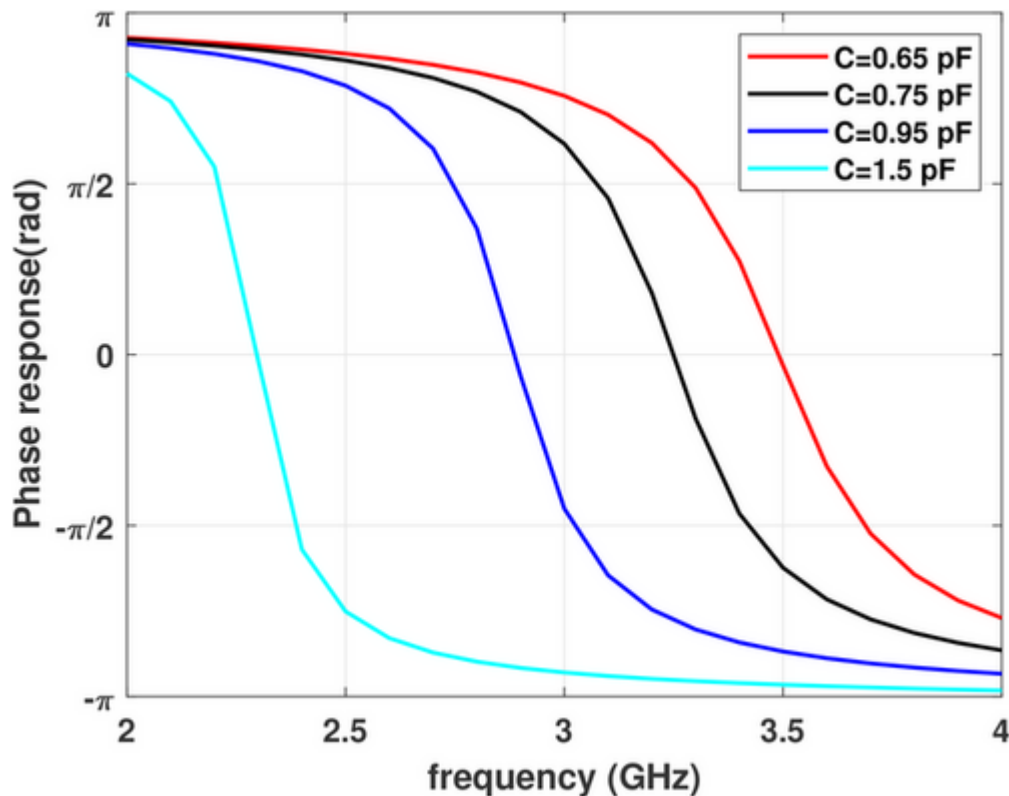
Ανάπτυξη ασύρματων δικτύων μεγάλης κλίμακας: Λόγω της εκτεταμένης ανάπτυξης επαναδιαμορφώσιμων μεταεπιφανειών σε διάφορα αντικείμενα στο μελλοντικό έξυπνο ραδιόφωνο περιβάλλον, τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να επωφεληθούν από ένα αποκεντρωμένο σύστημα RIS με μεμονωμένα προγραμματιζόμενες μονάδες RIS. Ο μεγάλος όγκος των προηγούμενων ερευνητικών δραστηριοτήτων έχει επικεντρωθεί στη βελτιστοποίηση δικτύων μικρής κλίμακας, τα οποία είναι συχνά δίκτυα που αποτελούνται από ένα μόνο RIS. Αυτή είναι μια φυσική ανάπτυξη που ξεκινά κατά την αξιολόγηση των πιθανών πλεονεκτημάτων της νέας τεχνολογίας. Επιπλέον, η αξιολόγηση αυτών των θεμελιωδών συνθηκών εξαρτάται από υποθέσεις μοντελοποίησης που μπορεί να είναι ή να μην είναι αρκετά ρεαλιστικές για την αξιολόγηση μεταϋλικών υπομήκους κύματος. Ωστόσο, ο ποσοτικός προσδιορισμός των περιορισμών απόδοσης των SRE σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας είναι κρίσιμος. Αυτό δημιουργεί ένα δύσκολο σενάριο για την κατανομή σε πραγματικό χρόνο και τη βελτιστοποίηση διαφορετικών RIS σε δυναμικά και ετερογενή δίκτυα για την εξυπηρέτηση διαφορετικών ροών δεδομένων. Οι μεμονωμένοι πομποδέκτες μπορούν να προσαρμόσουν τις παραμέτρους λειτουργίας τους σε απόκριση στην κατάσταση του καναλιού, η οποία καθορίζεται από ένα στοχαστικό μοντέλο και μπορεί να προβλεφθεί ή να εκτιμηθεί μέσω μιας διαδικασίας εκπαίδευσης. Λόγω της

δυνατότητας επαναδιαμόρφωσης του RIS, το ραδιοφωνικό περιβάλλον γίνεται προγραμματιζόμενο και μη σταθερό. Ως αποτέλεσμα, η κατανόηση του CSI μέσω της εκπαίδευσης γίνεται πιο δύσκολη για μεμονωμένους πομποδέκτες. Αυτό υποδηλώνει ότι τα δίκτυα που υποστηρίζονται από το RIS, τουλάχιστον για τις διάσπαρτες μονάδες RIS, θα συντονίζονται από μια κεντρική τοποθεσία. Ως αποτέλεσμα, το ασύρματο περιβάλλον καθίσταται ελκυστικό και ελεγχόμενο[13]. Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη RIS μεγάλης πυκνότητας σε μια μεγάλη βιομηχανική μονάδα ή ακόμα και στο κέντρο μιας πόλης για τη βελτίωση της πιθανότητας κάλυψης ή της ενεργειακής απόδοσης καθίσταται απαραίτητη στα μελλοντικά ασύρματα συστήματα.

Ανίχνευση και εκτίμηση ενεργειακά αποδοτικών καναλιών: Η υπεροχή του RIS βασίζεται στην ικανότητά του να αναδιαμορφώνει τη μετατόπιση φάσης κάθε στοιχείου σκέδασης με βάση τις συνθήκες του καναλιού από τον πομπό στον δέκτη. Αυτό απαιτεί δυνατότητες ανίχνευσης καναλιών και επεξεργασίας σήματος, οι οποίες είναι δύσκολο να επιτευχθούν χωρίς ειδική ικανότητα επεξεργασίας σήματος στα εξαρτήματα παθητικής σκέδασης. Η εκτίμηση καναλιού σε ένα σύστημα υποβοηθούμενο από RIS εκτελείται συχνά σε μια πλευρά της διαδικασίας επικοινωνίας, όπως το BS με ανώτερες υπολογιστικές δυνατότητες ή το άκρο του δέκτη. Στην ενότητα IV εκτίμηση καναλιού, εξετάζουμε τις διαφορετικές υπάρχουσες τεχνικές εκτίμησης καναλιών RIS, για παράδειγμα, το έγγραφο στο [150], υποθέτει ότι μόνο ένα στοιχείο σκέδασης είναι ενεργό κάθε φορά, με το υπόλοιπο αδρανές. Μια τεχνική εκτίμησης καναλιών που βασίζεται σε ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ/ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ στοιχείο προς στοιχείο είναι βασικά πολύ δαπανηρή για ένα μεγάλο RIS με τεράστια στοιχεία σκέδασης. Το RIS υποχρησιμοποιείται επειδή μόνο ένα μικρό ποσοστό των στοιχείων σκέδασης είναι ενεργό κάθε δεδομένη στιγμή. Αυτό μειώνει την ακρίβεια της εκτίμησης του καναλιού και προκαλεί σημαντική καθυστέρηση εκτίμησης. Παρά τις τεράστιες προσπάθειες που καταβλήθηκαν στο [122, 151, 154, 189-191] κατά τη δημιουργία ισχυρών αλγορίθμων εκτίμησης καναλιών για τη μείωση του γενικού κόστους εκπαίδευσης και την ενίσχυση της ακρίβειας εκτίμησης παρεκκλίνοντας από την τεχνική ON/OFF και προτείνοντας άλλες αποτελεσματικές, πιστεύουμε ότι απαιτούνται ακόμη εφικτές, αποτελεσματικές και μακροπρόθεσμες μέθοδοι εκτίμησης καναλιών για την ανακούφιση η πίεση να ζητηθεί περισσότερη κατανάλωση ενέργειας για ανταλλαγή πληροφοριών, επεξεργασία σήματος και υπολογιστές. Συνεπώς, οι συγγραφείς στο [192 - 194] επέλυσαν τα προβλήματα βελτιστοποίησης εξετάζοντας

σχήματα χωρίς την ανάγκη υπολογισμού των πληροφοριών κατάστασης καναλιού για τον υπολογισμό των κυρτών βελτιστοποιήσεων. Για παράδειγμα, οι συγγραφείς στο [192] βελτιστοποιεί τη διαμόρφωση δέσμης χωρίς CSI στο BS και το RIS μειώνοντας την ισχύ μετάδοσης διατηρώντας παράλληλα έναν ελάχιστο λόγο σήματος προς θόρυβο SNR προτείνοντας μια τεχνική βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO) που είναι μια μέθοδος στοχαστικής βελτιστοποίησης εμπνευσμένη από την κοινωνική συμπεριφορά ορισμένων ζωικών ειδών σχετικά με την ενημέρωση της μεταβαλλόμενης ταχύτητας και των θέσεων των σωματιδίων και στη συνέχεια, για κάθε σωματίδιο, τη σύγκριση του SNR στον εξοπλισμό χρήστη με το όριο για την ενημέρωση της κατάστασής του και ούτω καθεξής. Ενώ ο ερευνητής στο [194] έλυσε το πρόβλημα βελτιστοποίησης προτείνοντας αλγόριθμο χαμηλής πολυπλοκότητας με βάση την ομοιότητα συνημιτόνου για να αποφευχθούν οι πολύπλοκες επαναλήψεις και η τεράστια επιβάρυνση που απαιτείται κατά τη χρήση τεχνικών κυρτής βελτιστοποίησης. Παρόλα αυτά, ο προτεινόμενος αλγόριθμος δεν είναι ισχυρός σε σύγκριση με τον κυρτό, εξακολουθεί να είναι πολύ απλός και δεν απαιτεί πολλές επαναλήψεις για την προσαρμογή των φάσεων των στοιχείων RIS.

Διαμόρφωση RIS υπό κινητικότητα: Πολλά χαρακτηριστικά των συστημάτων επικοινωνίας έχουν διερευνηθεί με την ιδέα ότι το κανάλι είναι κατά προσέγγιση τμηματικά αναλλοίωτο στο χρόνο, επιτρέποντας τη χρήση της θεωρίας του συστήματος γραμμικής χρονικής αναλλοίωσης (LTI), στην πλειονότητα της έρευνας που χρησιμοποιεί το RIS για βοηθούν τη μετάδοση ωστόσο, τα ασύρματα κανάλια είναι χρονικά μεταβλητά λόγω της κινητικότητας του πομπού/δέκτη. Οι συγγραφείς στο [16, 195, 196] αποκάλυψαν τη σημασία της χρήσης του RIS για τη μείωση της διασποράς καθυστέρησης και την εξάλειψη της πρόσθετης διασποράς Doppler. Ωστόσο, τα αποτελέσματα στο [195] βασίστηκαν σε υποθετικά RIS που δημιουργούν κατοπτρικές αντανάκλασεις με ένα μόνο και πολύ μεγάλο αγωγίμα στοιχεία. Ενώ στο [196] η συμπερίληψη του στατιστικού μοντέλου καναλιού που αντιπροσωπεύει τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα και τη διακοπή της οπτικής επαφής δεν ελήφθησαν υπόψη στο μοντέλο συστήματος και στη βελτιστοποίηση των δορυφορικών επικοινωνιών LEO με τη βοήθεια RIS. Κατά συνέπεια, η βιβλιογραφία εξακολουθεί να λείπει για να εμπλουτιστεί με πρακτικά μοντέλα επικοινωνίας που λαμβάνουν υπόψη πραγματικές και πρακτικές υποθέσεις και παραμέτρους.



ΕΙΚΟΝΑ 25. Η προσαρμογή της απόκρισης συχνότητας όταν χρησιμοποιείται ένα varactor για την αλλαγή της ενεργού χωρητικότητας

Στα προαναφερθέντα σημεία, προσπαθήσαμε να συνοψίσουμε ορισμένες προκλήσεις που παρατηρήθηκαν κατά την προετοιμασία αυτής της έρευνας και ο σκοπός της αναφοράς σε αυτές είναι να διασφαλίσουμε ότι η έρευνα βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο και απαιτούνται τεράστιες προσπάθειες για τη δημιουργία ισχυρών θεμελιωδών ερευνών. δημιουργούν ισχυρές τεχνολογίες RIS για ασύρματα πρότυπα πέραν των 5G και 6 G, επομένως, αυτό το έγγραφο προτείνει κάποιες κατευθύνσεις μελέτης για μελλοντική έρευνα με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφική ανασκόπηση και την ενδελεχή ανάλυση συστήματος του παρόντος όγκου ερευνών.

Μηχανική εκμάθηση για παθητική διαμόρφωση δέσμης: Οι τεχνικές μηχανικής εκμάθησης, αντί των τεχνικών εναλλασσόμενης βελτιστοποίησης που χρησιμοποιούνται συχνά στη βιβλιογραφία, μπορεί να είναι πιο ελκυστικές για το RIS όσον αφορά την επίτευξη ευέλικτης και ελαφριάς διαχείρισης φάσης που εξαρτάται από τοπικά δεδομένα ραδιοπεριβάλλοντος. Αυτό μπορεί να μειώσει την ποσότητα των δεδομένων που μοιράζονται μεταξύ του RIS και των ενεργών πομποδεκτών [13 , 160 , 161 , 173-175].

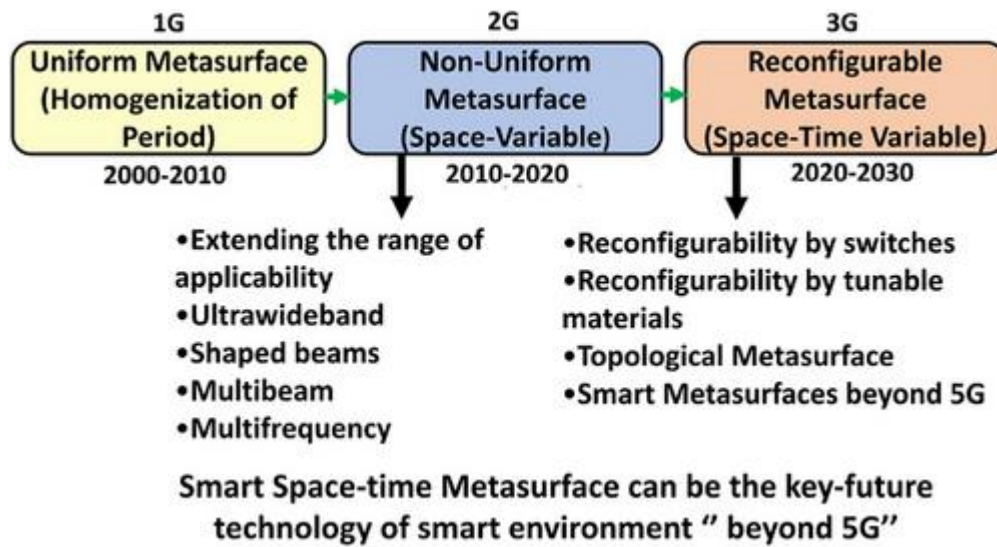
Επικοινωνίες mmWave και THz : Οι επικοινωνίες Mm-Wave δεν μπορούν να δώσουν ρυθμούς δεδομένων gigabit ανά δευτερόλεπτο στο μέλλον, επιτρέποντας ασύρματες εφαρμογές που απαιτούν ρυθμό (επαυξημένη/εικονική πραγματικότητα (AR/VR) και διαδικτυακά παιχνίδια, λόγω του μεγάλου διαθέσιμου εύρους ζώνης σε συχνότητες mm-Wave (δηλαδή 30–300 GHz). Ωστόσο, λόγω του αυξημένου αριθμού κεραιών εργασίας και αλυσίδων RF, οι επικοινωνίες mm-Wave έχουν σημαντικά υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας και κόστος υλικού [3]. Επιπλέον, τα κανάλια επικοινωνίας mm-Wave είναι επιρρεπή σε μπλοκαρίσματα και υποφέρουν γενικά από υψηλές απώλειες διάδοσης—όταν οι RIS αναπτύσσονται μεταξύ σταθμών βάσης και τελικών χρηστών, οι δύο κύριες HM ιδιότητες των RIS—ανάκλαση και διάθλαση—μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός οπτικού καναλιού επαφής μεταξύ του AP και του εξοπλισμού χρήστη για την παροχή υψηλής SE και δεδομένων. Προβλέπεται ότι οι RIS μπορούν να ενσωματωθούν με τα δίκτυα 5G και πέρα από αυτά, τα υπάρχοντα γιγαντιαία δίκτυα MIMO, τα δίκτυα mm-wave και τα δίκτυα THz στο Σχήμα 26 για την επέκταση της κάλυψης του δικτύου και την αύξηση της χωρητικότητας. Προβλέπεται ακόμα η βελτίωση της κάλυψης του δικτύου και η αύξηση της χωρητικότητας.

MEC πολλαπλής πρόσβασης: Η βασική προϋπόθεση του MEC είναι να φέρει τις εφαρμογές και τις σχετικές δραστηριότητες επεξεργασίας πιο κοντά στον καταναλωτή, ελαχιστοποιώντας τη συμφόρηση του δικτύου και βελτιώνοντας τις επιδόσεις των εφαρμογών. Η τεχνολογία MEC θα χρησιμοποιηθεί σε κυψελοειδείς σταθμούς βάσης και άλλους τελικούς κόμβους. Έχει σχεδιαστεί για χρήση σε κυψελοειδείς σταθμούς βάσης και άλλους τελικούς κόμβους. Η τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει τους πελάτες να αναπτύξουν νέες εφαρμογές και υπηρεσίες με ευέλικτο και έγκαιρο τρόπο, καθώς και να αποφορτίσουν τον υπολογιστικό φόρτο εργασίας από τις κινητές συσκευές για να μειώσουν την καθυστέρηση και την κατανάλωση ενέργειας. Πρόσφατα, ορισμένοι ερευνητές διερεύνησαν τη χρήση των RIS σε αυτό το περιβάλλον για τη βελτίωση των υπολογιστικών επιδόσεων και τη βελτιστοποίηση των υπολογιστικών και επικοινωνιακών λειτουργιών[200-204].

Προηγμένες εφαρμογές των RIS στις ασύρματες επικοινωνίες: Στην παραπάνω συζήτηση, οι εφαρμογές των RIS στις ασύρματες επικοινωνίες επικεντρώνονται στον έλεγχο του ραδιοκαναλιού και στη βελτίωση του ραδιοπεριβάλλοντος με την αναδιαμόρφωση της κατεύθυνσης και της κάλυψης της δέσμης, όπου οι μεταεπιφάνειες δεν εμπλέκονται στη διαμόρφωση της ψηφιακής πληροφορίας. Πρόσφατα παρουσιάστηκαν η ψηφιακή κωδικοποίηση και οι προγραμματιζόμενες μεταεπιφάνειες, όπου οι μεταεπιφάνειες χαρακτηρίζουν ψηφιακές καταστάσεις και ελέγχονται από FPGA[205 - 212]. Από τη μία πλευρά, η ψηφιακή κωδικοποίηση και οι προγραμματιζόμενες μεταεπιφάνειες επιτρέπουν τον χειρισμό κυματομορφών όπως η κατεύθυνση της δέσμης, η κεφαλή της δέσμης, ο αριθμός της δέσμης [205-207], η κατάσταση πόλωσης [208], η κωνική δέσμη[209] και η δέσμη στροβίλου τροχιακής στροφορμής [210-212] σε πραγματικό χρόνο και με προγραμματιζόμενο τρόπο. Από την άλλη πλευρά, μπορεί επίσης να διαμορφώνει άμεσα ψηφιακές πληροφορίες. Πιο πρόσφατα, έχουν αναπτυχθεί ψηφιακά κωδικοποιημένες μεταεπιφάνειες στο πεδίο του χρόνου, οι οποίες προσθέτουν έναν επιπλέον βαθμό ελευθερίας-τη φασματική κατανομή συχνότητας-στον έλεγχο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων [213,214]. Έτσι, οι γενικές ψηφιακές μεταεπιφάνειες που κωδικοποιούν το χώρο-χρόνο έχουν τη δυνατότητα να σχεδιάζουν ταυτόχρονα και ανεξάρτητα τόσο το χωρικό όσο και το συχνοτικό φάσμα και να διαμορφώνουν άμεσα την ψηφιακή πληροφορία[215,216]. Ως εκ τούτου, οι ψηφιακά κωδικοποιημένες και προγραμματιζόμενες μεταεπιφάνειες, που αποκαλούνται επίσης μεταεπιφάνειες πληροφορίας [217-219], δημιουργούν ένα ευρύ φάσμα συνδέσεων μεταξύ του φυσικού ηλεκτρομαγνητικού κόσμου και του ψηφιακού κόσμου. Οι πληροφοριακές μεταεπιφάνειες μπορούν να θεωρηθούν ως προηγμένες RIS με πιθανές βαθύτερες εφαρμογές στις ασύρματες επικοινωνίες. Για παράδειγμα, οι μεταεπιφάνειες πληροφορίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία νέων αρχιτεκτονικών για συστήματα ασύρματης επικοινωνίας που εξαλείφουν την ανάγκη για ψηφίο-αναλογικούς μετατροπείς, μίκτες, συσκευές RF και κεραίες στους παραδοσιακούς πομπούς[220-226]. Οι μετα-επιφάνειες πληροφορίας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη της θεωρίας πληροφορίας HM, η οποία συνδυάζει τη θεωρία πληροφορίας Shannon και τις εξισώσεις του Maxwell και αντιμετωπίζει τόσο την πληροφορία HM όσο και την πληροφορία bitstream ως ταυτόσημες. Με βάση τις μετα-επιφάνειες πληροφορίας, έχει επιδειχθεί η επικοινωνία οπισθοσκέδασης περιβάλλοντος με χειραγώγηση δημόσιων σημάτων Wi-Fi και ασφαλής ασύρματη επικοινωνία χωρίς ενεργά ραδιοστοιχεία[224]. Στο μέλλον, οι

επιφάνειες μετα-πληροφορίας ή οι προηγμένες RIS αναμένεται να φέρουν επανάσταση στις ασύρματες επικοινωνίες στη θεωρία κλειδιών, στα επίπεδα συστήματος και στην ασφάλεια επικοινωνίας στις επόμενες ασύρματες γενιές. Ωστόσο, λόγω του αυξανόμενου αριθμού των κεραιών λειτουργίας και των αλυσίδων RF, οι επικοινωνίες mm-Wave έχουν σημαντικά υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας και κόστος υλικού [3]. Επιπλέον, τα κανάλια επικοινωνίας mm-Wave είναι πιο επιρρεπή σε απόφραξη και υποφέρουν από μεγαλύτερη απώλεια διάδοσης συνολικά. Όταν τα RIS εγκαθίστανται μεταξύ σταθμών βάσης και τελικών χρηστών, τα δύο βασικά χαρακτηριστικά EM του RIS, η ανάκλαση και η διάθλαση, μπορούν να αξιοποιηθούν για την αντιμετώπιση του κρίσιμου προβλήματος των νεκρών σημείων με τη δημιουργία καναλιών οπτικής επαφής μεταξύ του AP και του εξοπλισμού χρήστη, επιτρέποντας για υψηλούς ρυθμούς SE και δεδομένων [197 - 199]. Προβλέπεται ότι το RIS θα ενσωματωθεί με τα δίκτυα πέραν του 5G, Εικόνα 26, και τα σημερινά τεράστια δίκτυα MIMO και τα δίκτυα mm-wave και THz για ενίσχυση της κάλυψης του δικτύου και αύξηση της χωρητικότητας.

MEC πολλαπλής πρόσβασης : Η βασική προϋπόθεση του MEC είναι ότι η συμφόρηση δικτύου ελαχιστοποιείται και οι εφαρμογές λειτουργούν καλύτερα όταν οι εφαρμογές και οι σχετικές δραστηριότητες επεξεργασίας εκτελούνται πιο κοντά στους καταναλωτές. Η τεχνολογία MEC προορίζεται για χρήση σε κυψελοειδείς σταθμούς βάσης και άλλους ακραίους κόμβους. Βοηθά τους πελάτες να αναπτύξουν νέες εφαρμογές και υπηρεσίες με ευέλικτο και έγκαιρο τρόπο, επιπλέον, βοηθώντας στη μεταφόρτωση υπολογιστικού φόρτου εργασίας από κινητές συσκευές για μείωση της καθυστέρησης και της κατανάλωσης ενέργειας. Μερικοί ακαδημαϊκοί εξετάζουν τη χρήση των RIS σε αυτήν τη ρύθμιση πρόσφατα [200 - 204] για να βελτιώσουν τα κέρδη υπολογιστικής απόδοσης και να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες υπολογισμού και επικοινωνίας.



EIKONA 26

Η βιβλιογραφία είναι γεμάτη από ενδιαφέρουσες και πολλά υποσχόμενες μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας, ωστόσο, αυτή η μελέτη επικεντρώνεται στην εννοιολογική και στις τεχνικές ανάλυσης και βελτιστοποίησης για τις RIS περισσότερο από τη διερεύνηση κάθε υποβοηθούμενης εφαρμογής RIS ξεχωριστά.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το παρόν έγγραφο παρέχει μια λεπτομερή επισκόπηση της αρχιτεκτονικής και των εφαρμογών του ΥΠΕΝ σε ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών. Στην εισαγωγή, παρουσιάζονται οι αρχές του RIS για να ρίξει νέο φως στο σχεδιασμό του RIS και παρουσιάζονται διαφορετικοί μηχανισμοί ελέγχου για να απεικονιστούν οι μέθοδοι συντονισμού των εφαρμογών που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικά μοντέλα επικοινωνίας. Παρουσιάζονται επίσης μοντέλα εξασθένησης συσχέτισης καναλιού και πρακτικά μοντέλα απώλειας διαδρομής για να χαρακτηριστούν τα μοντέλα σήματος και καναλιού στην επικοινωνία με τη βοήθεια RIS. Στη συνέχεια συζητείται ένα πλαίσιο βελτιστοποίησης και μια μεθοδολογία ανάλυσης επιδόσεων για τις RIS. Αυτές οι μεθοδολογίες αναμένεται να βελτιώσουν τη φασματική απόδοση των ασύρματων δικτύων λόγω της ικανότητάς τους να τροποποιούν τη συμπεριφορά των αλληλοεπιδρώντων ΗΜ κυμάτων με έξυπνο χειρισμό της ανακλώμενης μετατόπισης φάσης υπό διαφορετικά σενάρια ασύρματης επικοινωνίας. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται ορισμένες σχετικές στρατηγικές ανάπτυξης RIS και αλγόριθμοι εκτίμησης καναλιού για να μάθουμε πώς οι RIS, παρά την παθητική τους φύση, μπορούν να γνωρίζουν το περιβάλλον τους και να βελτιώσουν την απόδοση του συστήματος. Τέλος, η παρούσα εργασία ανοίγει το δρόμο για ορισμένους ερευνητικούς περιορισμούς και μελλοντικές κατευθύνσεις.

Η έρευνα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα ερευνητικών θεμάτων που σχετίζονται με τη χρήση του RIS στις ασύρματες επικοινωνίες, από τον φυσικό συντονισμό, τη μοντελοποίηση του καναλιού, την ψηφιακή κωδικοποίηση και την τροποποίηση της πληροφορίας έως ερευνητικά θέματα από την οπτική γωνία των ασύρματων επικοινωνιών με έμφαση στις τεχνικές βελτιστοποίησης και τις προσεγγίσεις λύσεων για ασύρματα συστήματα με RIS. Οι μέθοδοι που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία εξακολουθούν να περιορίζονται από διάφορες παραδοχές και παραμελούν ορισμένες πρακτικές παραμέτρους και περιορισμούς. Για παράδειγμα, η αμοιβαία σύζευξη μεταξύ γειτονικών στοιχείων RIS, τα μη πρακτικά μοντέλα ανάλυσης μετατόπισης φάσης που καθορίζουν τους συντελεστές ανάκλασης όλων των στοιχείων ενός RIS και οι ανεξέλεγκτες ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές είναι σημαντικοί και θεμελιώδεις παράγοντες που περιορίζουν και υποβαθμίζουν την απόδοση των RIS. Επιπλέον, οι νόμοι κλιμάκωσης στις περιοχές κοντινού και μακρινού πεδίου και η χρονικά

μεταβαλλόμενη κινητικότητα του καναλιού έχουν επίσης σημαντικό αντίκτυπο στις επιδόσεις της επικοινωνίας με τη βοήθεια των RIS και απαιτούν εκτεταμένη έρευνα. Οι υπάρχουσες λύσεις που αναφέρονται στη βιβλιογραφία βασίζονται ως επί το πλείστον σε εναλλακτικές μεθόδους βελτιστοποίησης και σε ομαδοποίηση για τη μείωση της επιβάρυνσης και την εγγύηση της σύγκλισης του αλγορίθμου σε μια τοπική βέλτιστη λύση, αλλά η υπολογιστική πολυπλοκότητα και ο χρόνος εκτέλεσης εξακολουθούν να είναι σημαντικά υψηλοί. Ως μελλοντική πρόκληση, με τη χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης για την ανάλυση αλγορίθμων βασισμένων σε RIS με χαμηλή πολυπλοκότητα και συγκεκριμένο χρόνο εκτέλεσης και με την επιτάχυνση της διαχείρισης φάσεων, προβλέπεται ότι τα ασύρματα συστήματα με δυνατότητα RIS όχι μόνο θα επιτύχουν υψηλότερα κέρδη απόδοσης, αλλά και θα δημιουργήσουν πιο εξελιγμένα και ρεαλιστικά μοντέλα επικοινωνίας. Επιπλέον, οι RIS θα πρέπει να είναι αναγνωρίσιμες στους αλγορίθμους διαμόρφωσης δέσμης και να γνωρίζουν πρακτικά μοντέλα μετατόπισης φάσης για αμοιβαία σύζευξη, ανεξέλεγκτη ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή και συντελεστές των RIS, ώστε να εγγυώνται βέλτιστα αποτελέσματα επιδόσεων. Επιπλέον, οι RIS μπορούν να παρέχουν κανάλια LOS που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αύξηση της κάλυψης στις ζώνες νεκρού χώρου των καναλιών επικοινωνίας κυμάτων mm και να βελτιώσουν την υπολογιστική αποδοτικότητα των MEC σε δίκτυα με συμφόρηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Elhattab M., Arfaoui M.A., Assi C., Ghrayeb A. Reconfigurable Intelligent Surface Assisted Coordinated Multipoint in Downlink NOMA Networks. *IEEE Commun. Lett.* 2021;25:632–636. doi: 10.1109/LCOMM.2020.3029717.
2. Nguyen K.K., Masaracchia A., Sharma V., Poor H.V., Duong T.Q. RIS-Assisted UAV Communications for IoT With Wireless Power Transfer Using Deep Reinforcement Learning. *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.* 2022;16:1086–1096. doi: 10.1109/JSTSP.2022.3172587.
3. Le A.T., Ha N.D.X., Do D.T., Silva A., Yadav S. Enabling User Grouping and Fixed Power Allocation Scheme for Reconfigurable Intelligent Surfaces-Aided Wireless Systems. *IEEE Access.* 2021;9:92263–92275. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3092335.
4. Le C.B., Do D.T., Li X., Huang Y.F., Chen H.C., Voznak M. Enabling NOMA in Backscatter Reconfigurable Intelligent Surfaces-Aided Systems. *IEEE Access.* 2021;9:33782–33795. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3061429.
5. Zhang S., Zhang R. Capacity Characterization for Intelligent Reflecting Surface Aided MIMO Communication. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2020;38:1823–1838. doi: 10.1109/JSAC.2020.3000814.
6. Khalili A., Monfared E.M., Zargari S., Javan M.R., Yamchi N.M., Jorswieck E.A. Resource Management for Transmit Power Minimization in UAV-Assisted RIS HetNets Supported by Dual Connectivity. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2022;21:1806–1822. doi: 10.1109/TWC.2021.3107306.
7. Jiao S., Fang F., Zhou X., Zhang H. Joint Beamforming and Phase Shift Design in Downlink UAV Networks with IRS-Assisted NOMA. *J. Commun. Inf. Netw.* 2020;5:138–149. doi: 10.23919/JCIN.2020.9130430.
8. Afzali N., Omid M.J., Navaie K., Moayedian N.S. Low Complexity Multi-User Indoor Localization Using Reconfigurable Intelligent Surface; Proceedings of the 2022 30th International Conference on Electrical Engineering (ICEE); Tehran, Iran. 17–19 May 2022; pp. 731–736.

9. Ranjha A., Kaddoum G. URLLC Facilitated by Mobile UAV Relay and RIS: A Joint Design of Passive Beamforming, Blocklength, and UAV Positioning. *IEEE Internet Things J.* 2021;8:4618–4627. doi: 10.1109/JIOT.2020.3027149.
10. Yang L., Meng F., Zhang J., Hasna M.O., Renzo M.D. On the Performance of RIS-Assisted Dual-Hop UAV Communication Systems. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2020;69:10385–10390. doi: 10.1109/TVT.2020.3004598.
11. Michailidis E.T., Miridakis N.I., Michalas A., Skondras E., Vergados D.J. Energy Optimization in Dual-RIS UAV-Aided MEC-Enabled Internet of Vehicles. *Sensors.* 2021;21:4392. doi: 10.3390/s21134392. [PMC free article] [PubMed]
12. Ren S., Shen K., Zhang Y., Li X., Chen X., Luo Z.Q. Configuring Intelligent Reflecting Surface with Performance Guarantees: Blind Beamforming. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2022 doi: 10.1109/TWC.2022.3217679.
13. Elsayed M., Samir A., El-Banna A.A., Khan W.U., Chatzinotas S., ElHalawany B.M. Mixed RIS-Relay NOMA-Based RF-UOWC Systems; Proceedings of the 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference: (VTC2022-Spring); Helsinki, Finland. 19–22 June 2022; pp. 1–6.
14. Li S., Yang L., Costa D.B.d., Renzo M.D., Alouini M.S. On the Performance of RIS-Assisted Dual-Hop Mixed RF-UWOC Systems. *IEEE Trans. Cogn. Commun. Netw.* 2021;7:340–353. doi: 10.1109/TCCN.2021.3058670.
15. Agrawal N., Bansal A., Singh K., Li C.P., Mumtaz S. Finite Block Length Analysis of RIS-Assisted UAV-Based Multiuser IoT Communication System With Non-Linear EH. *IEEE Trans. Commun.* 2022;70:3542–3557. doi: 10.1109/TCOMM.2022.3162249.
16. Fan X., Liu M., Chen Y., Sun S., Li Z. RIS-Assisted UAV for Fresh Data Collection in 3D Urban Environments: A Deep Reinforcement Learning Approach. *IEEE Trans. Vehicular Technol.* 2022:1–15. doi: 10.1109/TVT.2022.3232607.
17. Fernández S., Gregorio F., Chalise B.K., Cousseau J. Wireless Information and power transfer assisted by reconfigurable intelligent surfaces: Invited Paper; Proceedings of the 2021 Argentine Conference on Electronics (CAE); Bahia Blanca, Argentina. 11–12 March 2021; pp. 73–77.

18. Lin J., Zou Y., Dong X., Gong S., Hoang D.T., Niyato D.T. Deep Reinforcement Learning for Robust Beamforming in IRS-assisted Wireless Communications; Proceedings of the GLOBECOM 2020—2020 IEEE Global Communications Conference; Taipei, Taiwan. 7–11 December 2020; pp. 1–6.
19. Mohamed Z., Aïssa S. Resource Allocation for Energy-Efficient Cellular Communications via Aerial IRS; Proceedings of the 2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC); Nanjing, China. 29 March–1 April 2021; pp. 1–6.
20. Wang T., Fang F., Ding Z. An SCA and Relaxation Based Energy Efficiency Optimization for Multi-User RIS-Assisted NOMA Networks. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2022;71:6843–6847. doi: 10.1109/TVT.2022.3162197.
21. Kisseleff S., Chatzinotas S., Ottersten B. Reconfigurable Intelligent Surfaces in Challenging Environments: Underwater, Underground, Industrial and Disaster. *IEEE Access.* 2021;9:150214–150233. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3125461.
22. Sharma T., Chehri A., Fortier P. Reconfigurable Intelligent Surfaces for 5G and beyond Wireless Communications: A Comprehensive Survey. *Energies.* 2021;14:8219. doi: 10.3390/en14248219.
23. Mohsan S.A.H., Khan M.A., Alsharif M.H., Uthansakul P., Solyman A.A.A. Intelligent Reflecting Surfaces Assisted UAV Communications for Massive Networks: Current Trends, Challenges, and Research Directions. *Sensors.* 2022;22:5278. doi: 10.3390/s22145278. [PMC free article] [PubMed]
24. Park K.W., Kim H.M., Shin O.S. A Survey on Intelligent-Reflecting-Surface-Assisted UAV Communications. *Energies.* 2022;15:5143. doi: 10.3390/en15145143.
25. Pogaku A.C., Do D.T., Lee B.M., Nguyen N.D. UAV-Assisted RIS for Future Wireless Communications: A Survey on Optimization and Performance Analysis. *IEEE Access.* 2022;10:16320–16336. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3149054.
26. Sejan M.A.S., Rahman M.H., Shin B.S., Oh J.H., You Y.H., Song H.K. Machine Learning for Intelligent-Reflecting-Surface-Based Wireless Communication towards

6G: A Review. *Sensors*. 2022;22:5405. doi: 10.3390/s22145405. [PMC free article] [PubMed]

27. Li Z., Wang S., Lin Q., Li Y., Wen M., Wu Y.C., Poor H.V. Phase Shift Design in RIS Empowered Wireless Networks: From Optimization to AI-Based Methods. *Network*. 2022;2:398–418. doi: 10.3390/network2030025.

28. Cao X., Yang B., Huang C., Alexandropoulos G.C., Yuen C., Han Z., Poor H.V., Hanzo L. Massive Access of Static and Mobile Users via Reconfigurable Intelligent Surfaces: Protocol Design and Performance Analysis. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2022;40:1253–1269. doi: 10.1109/JSAC.2022.3145908.

29. Zhi K., Pan C., Ren H., Wang K. Power Scaling Law Analysis and Phase Shift Optimization of RIS-Aided Massive MIMO Systems With Statistical CSI. *IEEE Trans. Commun.* 2022;70:3558–3574. doi: 10.1109/TCOMM.2022.3162580.

30. Zeng P., Qiao D., Wu Q., Wu Y. Throughput Maximization for Active Intelligent Reflecting Surface-Aided Wireless Powered Communications. *IEEE Wirel. Commun.* 2022;11:992–996. doi: 10.1109/LWC.2022.3152563.

31. Liu K., Zhang Z., Dai L., Xu S., Yang F. Active Reconfigurable Intelligent Surface: Fully-Connected or Sub-Connected? *IEEE Commun. Lett.* 2022;26:167–171. doi: 10.1109/LCOMM.2021.3119696.

32. Pang X., Sheng M., Zhao N., Tang J., Niyato D., Wong K.K. When UAV Meets IRS: Expanding Air-Ground Networks via Passive Reflection. *IEEE Wirel. Commun.* 2021;28:164–170. doi: 10.1109/MWC.010.2000528.

33. Huang A., Guo L., Mu X., Dong C. Integrated Passive Reconfigurable Intelligent Surface and Active Relay Assisted NOMA Systems; Proceedings of the ICC 2022—IEEE International Conference on Communications; Seoul, Republic of Korea. 16–20 May 2022; pp. 3918–3923.

34. Khaleel A., Basar E. Phase Shift-Free Passive Beamforming for Reconfigurable Intelligent Surfaces. *IEEE Trans. Commun.* 2022;70:6966–6976. doi: 10.1109/TCOMM.2022.3200670.

35. Di B., Zhang H., Song L., Li Y., Han Z., Poor H.V. Hybrid Beamforming for Reconfigurable Intelligent Surface based Multi-User Communications: Achievable Rates With Limited Discrete Phase Shifts. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2020;38:1809–1822. doi: 10.1109/JSAC.2020.3000813.
36. Obeed M., Chaaban A. Joint Beamforming Design for Multiuser MISO Downlink Aided by a Reconfigurable Intelligent Surface and a Relay. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2022;21:8216–8229. doi: 10.1109/TWC.2022.3164903.
37. Lv Y., He Z., Rong Y. Multiuser Uplink MIMO Communications Assisted by Multiple Reconfigurable Intelligent Surfaces. *IEEE Commun. Lett.* 2021;25:3975–3979. doi: 10.1109/LCOMM.2021.3117568.
38. Wu Q., Zhang R. Beamforming Optimization for Intelligent Reflecting Surface with Discrete Phase Shifts; Proceedings of the ICASSP 2019—2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP); Brighton, UK. 12–17 May 2019; pp. 7830–7833.
39. Zhi K., Pan C., Ren H., Chai K.K., Elkashlan M. Active RIS Versus Passive RIS: Which is Superior With the Same Power Budget? *IEEE Commun. Lett.* 2022;26:1150–1154. doi: 10.1109/LCOMM.2022.3159525.
40. Xu D., Yu X., Kwan Ng D.W., Schober R. Resource Allocation for Active IRS-Assisted Multiuser Communication Systems; Proceedings of the 2021 55th Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers; Pacific Grove, CA, USA. 31 October–3 November 2021; pp. 113–119.
41. Nguyen N.T., Nguyen V.D., Wu Q., Tölli A., Chatzinotas S., Juntti M. Hybrid Active-Passive Reconfigurable Intelligent Surface-Assisted Multi-User MISO Systems; Proceedings of the 2022 IEEE 23rd International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communication (SPAWC); Oulu, Finland. 4–6 July 2022; pp. 1–5.
42. Guo H., Liang Y.C., Chen J., Larsson E.G. Weighted Sum-Rate Maximization for Intelligent Reflecting Surface Enhanced Wireless Networks; Proceedings of the 2019

IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM); Waikoloa, HI, USA. 9–13 December 2019; pp. 1–6.

43. Jiang W., Chen B., Zhao J., Xiong Z., Ding Z. Joint Active and Passive Beamforming Design for the IRS-Assisted MIMOME-OFDM Secure Communications. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2021;70:10369–10381. doi: 10.1109/TVT.2021.3106351.

44. You L., Xiong J., Ng D.W.K., Yuen C., Wang W., Gao X. Energy Efficiency and Spectral Efficiency Tradeoff in RIS-Aided Multiuser MIMO Uplink Transmission. *IEEE Trans. Signal Process.* 2021;69:1407–1421. doi: 10.1109/TSP.2020.3047474.

45. Xiu Y., Zhao J., Sun W., Renzo M.D., Gui G., Zhang Z., Wei N. Reconfigurable Intelligent Surfaces Aided mmWave NOMA: Joint Power Allocation, Phase Shifts, and Hybrid Beamforming Optimization. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2021;20:8393–8409. doi: 10.1109/TWC.2021.3092597.

46. Li Q., El-Hajjar M., Hemadeh I., Shojaeifard A., Mourad A.A.M., Clerckx B., Hanzo L. Reconfigurable Intelligent Surfaces Relying on Non-Diagonal Phase Shift Matrices. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2022;71:6367–6383. doi: 10.1109/TVT.2022.3160364.

47. Wang J., Liang Y.C., Joung J., Yuan X., Wang X. Joint Beamforming and Reconfigurable Intelligent Surface Design for Two-Way Relay Networks. *IEEE Trans. Commun.* 2021;69:5620–5633. doi: 10.1109/TCOMM.2021.3078524.

48. Zhang H., Zhang H., Di B., Bian K., Han Z., Song L. MetaLocalization: Reconfigurable Intelligent Surface Aided Multi-User Wireless Indoor Localization. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2021;20:7743–7757. doi: 10.1109/TWC.2021.3087354.

49. Huang C., Zappone A., Alexandropoulos G.C., Debbah M., Yuen C. Reconfigurable Intelligent Surfaces for Energy Efficiency in Wireless Communication. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2019;18:4157–4170. doi: 10.1109/TWC.2019.2922609.

50. Do T.N., Kaddoum G., Nguyen T.L., da Costa D.B., Haas Z.J. Aerial Reconfigurable Intelligent Surface-Aided Wireless Communication Systems; Proceedings of the 2021

IEEE 32nd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC); Helsinki, Finland. 13–16 September 2021; pp. 525–530.

51. Ernst D., Glavic M., Wehenkel L. Power systems stability control: Reinforcement learning framework. *IEEE Trans. Power Syst.* 2004;19:427–435. doi: 10.1109/TPWRS.2003.821457.

52. Liu Y., Zhang D., Gooi H.B. Optimization strategy based on deep reinforcement learning for home energy management. *CSEE J. Power Energy Syst.* 2020;6:572–582. doi: 10.17775/CSEEJPES.2019.02890.

53. DiGiovanna J., Mahmoudi B., Fortes J., Principe J.C., Sanchez J.C. Coadaptive Brain–Machine Interface via Reinforcement Learning. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2009;56:54–64. doi: 10.1109/TBME.2008.926699. [PubMed]

54. Saleem R., Ni W., Ikram M., Jamalipour A. Deep Reinforcement Learning-Driven Secrecy Design for Intelligent Reflecting Surface-Based 6G-IoT Networks. *IEEE Internet Things J.* 2022 doi: 10.1109/JIOT.2022.3232360.

55. Du Y., Zandi H., Kotevska O., Kurte K., Munk J., Amasyali K., Mckee E., Li F. Intelligent multi-zone residential HVAC control strategy based on deep reinforcement learning. *Appl. Energy.* 2021;281:116117. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.116117.

56. Tang X., Zhang J., Pi D., Lin X., Grzesiak L.M., Hu X. Battery Health-Aware and Deep Reinforcement Learning-Based Energy Management for Naturalistic Data-Driven Driving Scenarios. *IEEE Trans. Transp. Electrification.* 2022;8:948–964. doi: 10.1109/TTE.2021.3107143.

57. Wan K., Gao X., Hu Z., Wu G. Robust Motion Control for UAV in Dynamic Uncertain Environments Using Deep Reinforcement Learning. *Remote Sens.* 2020;12:640. doi: 10.3390/rs12040640.

58. Fu Q., Li K., Chen J., Wang J., Lu Y., Wang Y. Building Energy Consumption Prediction Using a Deep-Forest-Based DQN Method. *Buildings.* 2022;12:131. doi: 10.3390/buildings12020131.

59. Wang L., Wang K., Pan C., Aslam N. Joint Trajectory and Passive Beamforming Design for Intelligent Reflecting Surface-Aided UAV Communications: A Deep Reinforcement Learning Approach. *IEEE Trans. Mobile Comput.* 2022 doi: 10.1109/TMC.2022.3200998.
60. Mei H., Yang K., Liu Q., Wang K. 3D-Trajectory and Phase-Shift Design for RIS-Assisted UAV Systems Using Deep Reinforcement Learning. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2022;71:3020–3029. doi: 10.1109/TVT.2022.3143839.
61. Wang W., Zhang W. Intelligent Reflecting Surface Configurations for Smart Radio Using Deep Reinforcement Learning. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2022;40:2335–2346. doi: 10.1109/JSAC.2022.3180787.
62. Huang C., Mo R., Yuen C. Reconfigurable Intelligent Surface Assisted Multiuser MISO Systems Exploiting Deep Reinforcement Learning. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2020;38:1839–1850. doi: 10.1109/JSAC.2020.3000835.
63. Xu J., Ai B., Quek T.Q.S., Liuc Y. Deep Reinforcement Learning for Interference Suppression in RIS-Aided High-Speed Railway Networks; Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops); Seoul, Republic of Korea. 16–20 May 2022; pp. 337–342.
64. Ma W., Zhuo L., Li L., Liu Y., Ren H. Deep Reinforcement Learning for RIS-Aided Multiuser MISO System with Hardware Impairments. *Appl. Sci.* 2022;12:7236. doi: 10.3390/app12147236.
65. Jiao S., Xie X., Ding Z. Deep Reinforcement Learning-Based Optimization for RIS-Based UAV-NOMA Downlink Networks (Invited Paper) *Front. Signal Process.* 2022;2 doi: 10.3389/frsip.2022.915567.
66. Shehab M., Ciftler B.S., Khattab T., Abdallah M.M., Trincherro D. Deep Reinforcement Learning Powered IRS-Assisted Downlink NOMA. *IEEE Open J. Commun. Soc.* 2022;3:729–739. doi: 10.1109/OJCOMS.2022.3165590.
67. Guo X., Chen Y., Wang Y. Learning-Based Robust and Secure Transmission for Reconfigurable Intelligent Surface Aided Millimeter Wave UAV Communications. *IEEE Wirel. Commun. Lett.* 2021;10:1795–1799. doi: 10.1109/LWC.2021.3081464.

68. Hashemi R., Ali S., Taghavi E.M., Mahmood N.H., Latva-Aho M. Deep Reinforcement Learning for Practical Phase Shift Optimization in RIS-assisted Networks over Short Packet Communications; Proceedings of the 2022 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit); Grenoble, France. 7–10 June 2022; pp. 518–523.
69. Jing F., Zhang H., Gao M., Xue B., Cao K. RIS-Assisted Multi-Antenna AmBC Signal Detection Using Deep Reinforcement Learning. *Sensors*. 2022;22:6137. doi: 10.3390/s22166137. [PMC free article] [PubMed]
70. Pereira-Ruisánchez D., Fresnedo Ó., Pérez-Adán D., Castedo L. Joint Optimization of IRS-assisted MU-MIMO Communication Systems through a DRL-based Twin Delayed DDPG Approach; Proceedings of the 2022 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB); Bilbao, Spain. 15–17 June 2022; pp. 1–6.
71. Nguyen K.K., Khosravirad S.R., da Costa D.B., Nguyen L.D., Duong T.Q. Reconfigurable Intelligent Surface-Assisted Multi-UAV Networks: Efficient Resource Allocation With Deep Reinforcement Learning. *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.* 2022;16:358–368. doi: 10.1109/JSTSP.2021.3134162.
72. Samir M., Elhatab M., Assi C., Sharafeddine S., Ghayeb A. Optimizing Age of Information Through Aerial Reconfigurable Intelligent Surfaces: A Deep Reinforcement Learning Approach. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2021;70:3978–3983. doi: 10.1109/TVT.2021.3063953.
73. Huang C., Chen G., Tang J., Xiao P., Han Z. Machine-Learning-Empowered Passive Beamforming and Routing Design for Multi-RIS-Assisted Multihop Networks. *IEEE Internet Things J.* 2022;9:25673–25684. doi: 10.1109/JIOT.2022.3195543.
74. Perović N.S., Tran L.N., Di Renzo M., Flanagan M.F. Achievable Rate Optimization for MIMO Systems With Reconfigurable Intelligent Surfaces. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2021;20:3865–3882. doi: 10.1109/TWC.2021.3054121.
75. Atapattu S., Fan R., Dharmawansa P., Wang G., Evans J., Tsiftsis T.A. Reconfigurable Intelligent Surface Assisted Two-Way Communications: Performance

Analysis and Optimization. *IEEE Trans. Commun.* 2020;68:6552–6567. doi: 10.1109/TCOMM.2020.3008402.

76. Hashida H., Kawamoto Y., Kato N. Intelligent Reflecting Surface Placement Optimization in Air-Ground Communication Networks Toward 6G. *IEEE Wirel. Commun.* 2020;27:146–151. doi: 10.1109/MWC.001.2000142.

77. Zhang J., Du H., Sun Q., Ai B., Ng D.W.K. Physical Layer Security Enhancement With Reconfigurable Intelligent Surface-Aided Networks. *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.* 2021;16:3480–3495. doi: 10.1109/TIFS.2021.3083409.

78. Jung M., Saad W., Jang Y., Kong G., Choi S. Performance Analysis of Large Intelligent Surfaces (LISs): Asymptotic Data Rate and Channel Hardening Effects. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2020;19:2052–2065. doi: 10.1109/TWC.2019.2961990.

79. Wang Y., Lu H., Sun H. Channel Estimation in IRS-Enhanced mmWave System With Super-Resolution Network. *IEEE Commun. Lett.* 2021;25:2599–2603. doi: 10.1109/LCOMM.2021.3079322.

80. Chen Y., Wang Y., Wang Z., Zhang P. Robust Beamforming for Active Reconfigurable Intelligent Omni-Surface in Vehicular Communications. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2022;40:3086–3103. doi: 10.1109/JSAC.2022.3196095.

81. Tasci R.A., Kilinc F., Basar E., Alexandropoulos G.C. A New RIS Architecture With a Single Power Amplifier: Energy Efficiency and Error Performance Analysis. *IEEE Access.* 2022;10:44804–44815. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3167841.

82. Long R., Liang Y.C., Pei Y., Larsson E.G. Active Reconfigurable Intelligent Surface-Aided Wireless Communications. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2021;20:4962–4975. doi: 10.1109/TWC.2021.3064024.

83. Da Silva L.M.D., Torquato M.F., Fernandes M.A.C. Parallel Implementation of Reinforcement Learning Q-Learning Technique for FPGA. *IEEE Access.* 2019;7:2782–2798. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2885950.

84. Ji Z., Qin Z., Parini C.G. Reconfigurable Intelligent Surface Aided Cellular Networks With Device-to-Device Users. *IEEE Trans. Commun.* 2022;70:1808–1819. doi: 10.1109/TCOMM.2022.3145570.
85. Huang C., Alexandropoulos G.C., Yuen C., Debbah M. Indoor Signal Focusing with Deep Learning Designed Reconfigurable Intelligent Surfaces; Proceedings of the 2019 IEEE 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC); Cannes, France. 2–5 July 2019; pp. 1–5.
86. Gupta K.D., Nigam R., Sharma D.K., Dhurandher S.K. LSTM-Based Energy-Efficient Wireless Communication With Reconfigurable Intelligent Surfaces. *IEEE Trans. Green Commun. Netw.* 2022;6:704–712. doi: 10.1109/TGCN.2021.3135437.
87. Zhang S., Zhang S., Gao F., Ma J., Dobre O.A. Deep Learning Optimized Sparse Antenna Activation for Reconfigurable Intelligent Surface Assisted Communication. *IEEE Trans. Commun.* 2021;69:6691–6705. doi: 10.1109/TCOMM.2021.3097726.
88. Zeng T., Semiari O., Mozaffari M., Chen M., Saad W., Bennis M. Federated Learning in the Sky: Joint Power Allocation and Scheduling with UAV Swarms; Proceedings of the ICC 2020—2020 IEEE International Conference on Communications (ICC); Dublin, Ireland. 7–11 June 2020; pp. 1–6.
89. Jamali M.V., Chizari A., Salehi J.A. Performance Analysis of Multi-Hop Underwater Wireless Optical Communication Systems. *IEEE Photonics Technol. Lett.* 2017;29:462–465. doi: 10.1109/LPT.2017.2657228.
90. Zedini E., Oubei H.M., Kammoun A., Hamdi M., Ooi B.S., Alouini M.S. Unified Statistical Channel Model for Turbulence-Induced Fading in Underwater Wireless Optical Communication Systems. *IEEE Trans. Commun.* 2019;67:2893–2907. doi: 10.1109/TCOMM.2019.2891542. [PubMed]
91. Chen C., Pan C. Blocking Probability in Obstructed Tunnels With Reconfigurable Intelligent Surface. *IEEE Commun. Lett.* 2022;26:458–462. doi: 10.1109/LCOMM.2021.3128529.