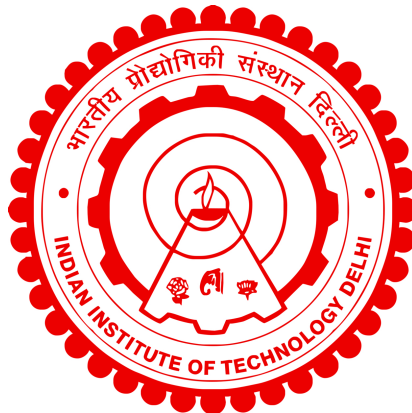


PERFORMANCE EVALUATION OF SPECTRALLY EFFICIENT RIS-ASSISTED WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

SUPRIYA KUMARI



**BHARTI SCHOOL OF TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY
AND MANAGEMENT**

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

MAY 2026

© **Indian Institute of Technology Delhi (IITD), New Delhi, 2026**

PERFORMANCE EVALUATION OF SPECTRALLY EFFICIENT RIS-ASSISTED WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

by

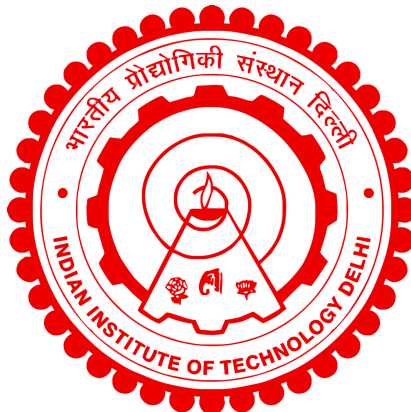
SUPRIYA KUMARI

Bharti School of Telecommunication Technology and
Management

Submitted

in partial fulfillment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy

to the



INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

MAY 2026

Certificate

This is to certify that the thesis entitled “**Performance Evaluation of Spectrally Efficient RIS-Assisted Wireless Communication Systems**”, submitted by **Ms. Supriya Kumari**, a Research Scholar, in the *Bharti School of Telecommunication Technology and Management, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi, India* for the award of the degree of **Doctor of Philosophy** is a record of the original, bonafide research work carried out by her under our supervision and guidance. The thesis has reached the standards fulfilling the requirements of the regulations related to the award of the degree.

The results contained in this thesis have not been submitted in part or in full to any other University or Institute for the award of any degree or diploma to the best of our knowledge.

Prof. Seshan Srirangarajan

Department of Electrical Engineering
Indian Institute of Technology Delhi
New Delhi, 110016, India

Prof. Vimal Bhatia

Department of Electrical Engineering
Indian Institute of Technology Indore
Indore, 453552, India

Acknowledgements

I would like to express my sincere gratitude to all those who have supported me throughout the journey of completing this thesis.

First and foremost, I would like to thank my supervisors, Prof. Seshan Srirangarajan and Prof. Vimal Bhatia, for their invaluable guidance, encouragement, and expertise. Their insights and feedback were instrumental in shaping my research and academic development. I would also like to thank my committee members, Prof. Shankar Prakriya, Prof. Harshan Jagadeesh and Prof. Monika Aggrawal for their insightful suggestions and encouragement that have greatly enhanced the quality of my research.

I extend my heartfelt thanks to my friends, whose companionship and encouragement made this challenging journey much more enjoyable. The moments of discussion, and even lighthearted breaks with them gave me the strength to persevere through difficult times. Their support has been a vital part of this journey, both academically and personally.

My deepest gratitude goes to my parents for their unconditional love, patience, and constant belief in me. Their unwavering support has been the foundation of my determination and motivation throughout this journey.

Finally, to everyone who has contributed, directly or indirectly, to my academic and personal growth, I offer my sincere thanks. This thesis is as much a reflection of their support as it is of my own efforts.

Supriya Kumari

(2019BSZ8108)

Abstract

With the evolution of wireless technologies beyond 5G and toward 6G, there is an increasing emphasis on achieving high spectral efficiency, massive connectivity, low latency, and ultra-reliable communication for emerging applications such as the Internet of Things (IoT), autonomous systems, and smart radio environments. To meet these demands, next-generation wireless networks are expected to integrate intelligent propagation control, advanced multiple access techniques, and energy-efficient communication paradigms.

In this context, this dissertation presents a comprehensive performance analysis of reconfigurable intelligent surface (RIS)-assisted wireless communication systems, progressively extending the system model and transmission strategies to address distinct challenges related to reliability, spectral efficiency, interference management, and energy sustainability. The contributions of the thesis are structured to evolve from single-user reliability enhancement to multi-user access optimization and, finally, to ultra-low-power communication scenarios.

In the first part of the dissertation, an RIS-assisted wireless system is studied where communication between a single-antenna source and destination is facilitated through an RIS. Since acquiring channel state information (CSI) at a passive RIS is challenging, an RIS-assisted Alamouti space-time block coding (STBC) scheme is employed to virtually transmit M -ary PSK symbols without requiring multiple RF chains at the source. This approach significantly reduces hardware complexity while improving link reliability. Closed-form analytical expressions for symbol error rate (SER) and outage probability are derived and validated through simulations, highlighting the diversity benefits achievable through RIS-assisted STBC transmission.

Building upon this framework, the second part of the dissertation shifts focus to multi-user communication and spectral efficiency enhancement. A downlink STAR-RIS-assisted NOMA system with index modulation (IM) is investigated, where the STAR-RIS enables simultaneous transmission and reflection to serve users located on both sides of the metasurface. By integrating IM into the STAR-RIS-NOMA framework, additional information is conveyed through receive antenna indices, improving spectral efficiency without increasing transmit power. The bit error rate (BER) performance is analyzed under Rician fading, and the effects of RIS size, power allocation, receive antenna diversity, and channel conditions are examined via Monte Carlo simulations.

Although non-orthogonal multiple access (NOMA) enhances spectral efficiency, its performance strongly depends on perfect successive interference cancellation (SIC) and favorable channel conditions. In practical scenarios with moderate channel disparities and residual interference, the achievable gains of NOMA can be limited. To address these limitations, the third part of the dissertation introduces rate-splitting multiple access (RSMA) within a coordinated direct and relay transmission (CDRT) framework. In this system, a base station serves one user cluster directly and another via a decode-and-forward relay, with an RIS incorporated alongside the relay to form a hybrid relay network. RSMA enables flexible interference management by partially decoding and partially treating interference as noise, thereby outperforming conventional NOMA-based CDRT schemes. Analytical expressions for outage probability and ergodic capacity are derived for both half- and full-duplex relay modes and validated through simulations.

Finally, the dissertation shifts focus from spectral efficiency to energy efficiency and low-latency communication by investigating an RIS-assisted ambient backscatter communication (AmBC) system operating under both infinite and finite blocklength regimes. A segmented-RIS architecture is adopted to simultaneously enhance the source–RIS–tag and source–RIS–destination links. To capture practical circuit behavior, a non-linear energy harvesting model is incorporated. Analytical expressions for outage probability and average achievable rate are derived for infinite blocklength transmission, while block error rate (BLER), achievable rate, and system goodput are analyzed for finite blocklength transmission. The results reveal fundamental tradeoffs between reliability, latency, and energy availability, highlighting the suitability of RIS-assisted AmBC for ultra-low-power IoT applications.

Overall, this dissertation demonstrates how RIS-assisted systems can be systematically tailored to address diverse communication objectives, ranging from reliability enhancement and interference management to energy-constrained short-packet transmission, providing useful insights for the design of next-generation wireless networks.

सार

5G से आगे और 6G की दिशा में वायरलेस प्रौद्योगिकियों के विकास के साथ, स्पेक्ट्रल दक्षता, विशाल कनेक्टिविटी, कम विलंबता (लो-लेटेंसी) और अत्यधिक विश्वसनीय संचार प्राप्त करने पर लगातार अधिक ज़ोर दिया जा रहा है। ये आवश्यकताएँ इंटरनेट ऑफ थिंग्स (IoT), स्वायत्त प्रणालियों तथा स्मार्ट रेडियो परिवेश जैसे उभरते अनुप्रयोगों के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण हैं। इन मांगों को पूरा करने के लिए, अगली पीढ़ी के वायरलेस नेटवर्क से यह अपेक्षा की जाती है कि वे बुद्धिमान प्रसार नियंत्रण, उन्नत मल्टीपल एक्सेस तकनीकों तथा ऊर्जा-कुशल संचार प्रतिमानों को एकीकृत करेंगे।

इस संदर्भ में, यह शोध-प्रबंध पुनर्संयोज्य बुद्धिमान सतह (RIS) आधारित वायरलेस संचार प्रणालियों का एक व्यापक प्रदर्शन विश्लेषण प्रस्तुत करता है। इसमें प्रणाली मॉडल और ट्रांसमिशन रणनीतियों को क्रमिक रूप से विस्तारित किया गया है, ताकि विश्वसनीयता, स्पेक्ट्रल दक्षता, इंटरफेरेंस प्रबंधन तथा ऊर्जा स्थिरता से संबंधित विभिन्न चुनौतियों का समाधान किया जा सके। इस थीसिस के योगदानों को इस प्रकार संरचित किया गया है कि वे एकल-उपयोगकर्ता विश्वसनीयता संवर्धन से शुरू होकर बहु-उपयोगकर्ता एक्सेस अनुकूलन और अंततः अल्ट्रा-लो-पावर संचार परिदृश्यों तक विकसित होते हैं।

शोध-प्रबंध के प्रथम भाग में, एक RIS-सहायित वायरलेस प्रणाली का अध्ययन किया गया है, जहाँ एकल-एंटीना स्रोत और गंतव्य के बीच संचार RIS के माध्यम से सुगम बनाया जाता है। चूँकि एक पैसिव RIS पर चैनल स्टेट इंफॉर्मेशन (CSI) प्राप्त करना चुनौतीपूर्ण होता है, इसलिए RIS-सहायित Alamouti स्पेस-टाइम ब्लॉक कोडिंग (STBC) योजना का उपयोग किया गया है, जिससे स्रोत पर कई RF चेन की आवश्यकता के बिना M-ary PSK प्रतीकों का वर्चुअल ट्रांसमिशन संभव हो सके। यह दृष्टिकोण हार्डवेयर जटिलता को उल्लेखनीय रूप से कम करता है तथा लिंक विश्वसनीयता में सुधार करता है। प्रतीक त्रुटि दर (SER) और आउटपुट प्रापिकता के लिए क्लोज़्ड-फॉर्म विश्लेषणात्मक अभिव्यक्तियाँ व्युत्पन्न की गई हैं और सिमुलेशन के माध्यम से सत्यापित की गई हैं, जो RIS-सहायित STBC ट्रांसमिशन द्वारा प्राप्त होने वाले डाइवर्सिटी लाभों को उजागर करती हैं।

इस ढाँचे पर आगे निर्माण करते हुए, शोध-प्रबंध का दूसरा भाग बहु-उपयोगकर्ता संचार और स्पेक्ट्रल दक्षता संवर्धन पर केंद्रित है। इंडेक्स मॉड्यूलेशन (IM) के साथ एक डाउनलिक स्टार-RIS-सहायित NOMA प्रणाली का अध्ययन किया गया है, जहाँ STAR-RIS मेटासर्फेस के दोनों ओर स्थित उपयोगकर्ताओं को सेवा प्रदान करने के लिए एक साथ ट्रांसमिशन और रिप्लेक्शन को सक्षम बनाता है। STAR-RIS-NOMA फ्रेमवर्क में IM को एकीकृत करने से, अतिरिक्त सूचना रिसीव एंटीना इंडेक्स के माध्यम से प्रेषित की जाती है, जिससे ट्रांसमिट पावर बढ़ाए बिना स्पेक्ट्रल दक्षता में सुधार होता है। Rician फेडिंग के अंतर्गत बिट त्रुटि दर (BER) प्रदर्शन का विश्लेषण

किया गया है, तथा RIS के आकार, पावर आवंटन, रिसीव एंटीना डाइवर्सिटी और चैनल परिस्थितियों के प्रभावों की जाँच मोटे कालों सिमुलेशनों के माध्यम से की गई है।

यद्यपि नॉन-ऑर्थोगोनल मल्टीपल एक्सेस (NOMA) स्पेक्ट्रल दक्षता को बढ़ाता है, इसका प्रदर्शन पूर्ण सक्सेसिव इंटरफेरेंस कैंसलेशन (SIC) और अनुकूल चैनल परिस्थितियों पर अत्यधिक निर्भर करता है। व्यावहारिक परिदृश्यों में, जहाँ चैनल में मध्यम असमानताएँ और अवशिष्ट इंटरफेरेंस मौजूद होती हैं, NOMA द्वारा प्राप्त लाभ सीमित हो सकते हैं। इन सीमाओं को दूर करने के लिए, शोध-प्रबंध का तीसरा भाग समन्वित प्रत्यक्ष और रिले ट्रांसमिशन (CDRT) ढाँचे के अंतर्गत रेट-स्प्लिटिंग मल्टीपल एक्सेस (RSMA) को प्रस्तुत करता है। इस प्रणाली में, एक बेस स्टेशन एक उपयोगकर्ता समूह को प्रत्यक्ष रूप से और दूसरे को डिकोड-एंड-फॉरवर्ड रिले के माध्यम से सेवा प्रदान करता है, जहाँ रिले के साथ एक RIS को सम्मिलित कर एक हाइब्रिड रिले नेटवर्क बनाया गया है। RSMA इंटरफेरेंस को आंशिक रूप से डिकोड करने और आंशिक रूप से शोर के रूप में मानने की लचीली क्षमता प्रदान करता है, जिससे यह पारंपरिक NOMA-आधारित CDRT योजनाओं से बेहतर प्रदर्शन करता है। हाफ-डुप्लेक्स और फुल-डुप्लेक्स रिले मोड्स के लिए आउटपुट प्रायिकता और एर्गोडिक क्षमता की विश्लेषणात्मक अभिव्यक्तियाँ व्युत्पन्न की गई हैं और सिमुलेशनों के माध्यम से सत्यापित की गई हैं।

अंततः, शोध-प्रबंध स्पेक्ट्रल दक्षता से हटकर ऊर्जा दक्षता और कम-विलंबता संचार पर ध्यान केंद्रित करता है, जिसके अंतर्गत एक RIS-सहायित एम्बिअंट बैकस्केटर कम्युनिकेशन (AmBC) प्रणाली का अध्ययन किया गया है, जो अनंत और सीमित ब्लॉक-लेंथ दोनों परिदृश्यों में संचालित होती है। स्रोत-RIS-टैग और स्रोत-RIS-गंतव्य लिंक्स को एक साथ सुदृढ़ करने के लिए एक सेगमेंटेड-RIS आर्किटेक्चर अपनाया गया है। व्यावहारिक सर्किट व्यवहार को दर्शाने हेतु एक नॉन-लीनियर ऊर्जा हार्वेस्टिंग मॉडल को शामिल किया गया है। अनंत ब्लॉक-लेंथ ट्रांसमिशन के लिए आउटपुट प्रायिकता और औसत प्राप्त करने योग्य दर की विश्लेषणात्मक अभिव्यक्तियाँ व्युत्पन्न की गई हैं, जबकि सीमित ब्लॉक-लेंथ ट्रांसमिशन के लिए ब्लॉक त्रुटि दर (BLER), प्राप्त करने योग्य दर और सिस्टम गुडपुट का विश्लेषण किया गया है। परिणाम विश्वसनीयता, विलंबता और ऊर्जा उपलब्धता के बीच मौलिक ट्रेड-ऑफ को उजागर करते हैं तथा अल्ट्रा-लो-पावर IoT अनुप्रयोगों के लिए RIS-सहायित AmBC की उपयुक्तता को दर्शाते हैं।

समग्र रूप से, यह शोध-प्रबंध यह प्रदर्शित करता है कि RIS-सहायित प्रणालियों को व्यवस्थित रूप से विभिन्न संचार उद्देश्यों—जैसे विश्वसनीयता संवर्धन, इंटरफेरेंस प्रबंधन और ऊर्जा-संवर्धित शॉर्ट-पैकेट ट्रांसमिशन—को पूरा करने के लिए कैसे अनुकूलित किया जा सकता है, और यह अगली पीढ़ी के वायरलेस नेटवर्क के डिज़ाइन हेतु उपयोगी अंतर्दृष्टि प्रदान करता है।

Contents

Certificate	i
Acknowledgements	ii
Abstract	iii
List of Figures	xi
List of Tables	xiii
List of Symbols	xv
List of Abbreviations	xvii
1 Introduction	1
1.1 Background	1
1.2 Overview of Enabling Technologies	2
1.2.1 Reconfigurable Intelligent Surfaces	3
1.2.2 Simultaneously Transmitting and Reflecting RIS	5
1.2.2.1 Basic Signal Model	6
1.2.2.2 STAR-RIS Protocols	7
1.2.3 Wireless Energy Harvesting	9
1.2.3.1 Linear Energy Harvesting	10
1.2.3.2 Non-linear Energy Harvesting	10
1.3 Advanced Communication Strategies	11
1.3.1 Coordinated Direct and Relay Transmission	11
1.3.2 Ambient Backscatter Communication	12
1.3.3 Finite Blocklength Communications	13
1.4 Wireless Channel: Modeling and Performance Metrics	15
1.4.1 Modeling of Channel	15
1.4.2 Performance Metrics	17
1.5 Multiple Access and Transmission Techniques	19

1.5.1	Space-Time Block Coding	19
1.5.2	Index Modulation	21
1.5.3	Non-Orthogonal Multiple Access	23
1.5.4	Rate-Splitting Multiple Access	25
1.6	Research Gap and Problem Identification	28
1.7	Thesis Organization	29
2	RIS-Assisted STBC Scheme	33
2.1	Introduction	33
2.2	System Model	34
2.2.1	Channel Model	35
2.2.2	RIS-Assisted Space Time Block Code	36
2.3	Analysis of SER	38
2.3.1	Conventional STBC	38
2.3.2	RIS-Assisted STBC	38
2.4	Outage Analysis	41
2.5	Asymptotic Analysis of SER	42
2.6	Diversity Order	42
2.7	Simulation Results	43
2.8	Summary	46
3	STAR RIS-Assisted NOMA with Index Modulation	47
3.1	Introduction	47
3.2	System Model	49
3.2.1	Channel Model	49
3.2.2	Transmitter Design	50
3.2.3	Receiver Design	51
3.3	Simulation Results	54
3.3.1	Optimal Power Allocation	54
3.3.2	Bit Error Rate Analysis	55
3.3.3	Impact of Rician Factor	56
3.3.4	Impact of the Number of Receive Antenna	56
3.4	Summary	58
4	RIS-Assisted Cooperative RSMA in Hybrid-Relay Networks	59
4.1	Introduction	59
4.2	System Model	63
4.2.1	HDR Mode	64
4.2.2	FDR Mode	67
4.3	Precoding	70
4.4	Performance Analysis	71
4.4.1	Outage Probability	71

4.4.1.1	HDR Mode	71
4.4.1.2	FDR Mode	74
4.4.2	Ergodic Sum Capacity	76
4.5	Simulation Results	77
4.6	Summary	81
5	RIS-Assisted Ambient Backscatter in Finite Blocklength	83
5.1	Introduction	83
5.2	System Model	87
5.3	Statistical Characterization	91
5.3.1	Distribution of X and Z	91
5.3.2	Conditional Distribution of W	93
5.3.3	Unconditional Distribution of W	95
5.4	Performance Analysis	96
5.4.1	Infinite Blocklength Transmission	97
5.4.1.1	Outage Probability	97
5.4.1.2	Average Achievable Rate	98
5.4.2	Finite Blocklength Transmission	101
5.4.2.1	Average Decoding Error Probability	101
5.4.2.2	Average Achievable Rate	104
5.4.3	Diversity Order	106
5.4.3.1	When σ_n^2 is fixed	106
5.4.3.2	When σ_n^2 is varying	108
5.5	Simulation Results	108
5.6	Summary	116
6	Conclusion and Future Work	117
6.1	Conclusion	117
6.2	Future Work	119
	Bibliography	121
A	PDF of Ω	139
B	CDF of R_1, R_2 and R_3 for different relaying case	141
C	Optimal Value of α	149
D	Analytical moments of $U = \left(\sum_{i=1}^N g_{1,i} g_{2,i} \right)^2$	151
E	Exact Conditional and Unconditional Distributions of W using Convolution	155
	List of Publications	159

Biodata of the Author

161

List of Figures

1.1	Illustration of an RIS metasurface consisting of a large array of passive reflecting elements.	4
1.2	Illustration of an RIS-assisted wireless communication system.	5
1.3	Concept of STAR-RIS.	6
1.4	Illustration of three practical protocols for operating STAR-RIS: (a) energy splitting, (b) mode switching, (c) time switching.	8
1.5	Types of backscatter.	12
1.6	RIS-based IM system realizations: (a) IM for source (S) transmit antennas, (b) IM for RIS reflector regions, (c) IM for destination (D) receive antennas.	22
1.7	Illustration of OMA and NOMA via power domain multiplexing.	24
1.8	Transceiver architecture of K -user 1-layer RSMA.	26
1.9	Beam representation of RSMA, NOMA and OMA for two-user scenario.	27
1.10	Flowchart highlighting contributions of the work presented in this dissertation.	31
2.1	Illustration of an RIS-assisted SISO system.	35
2.2	Analytical and simulated PDF plot for $\xi = 4$ and $\gamma_s = 1$	40
2.3	SER performance of 4-PSK and 16-PSK for different values of Rician factor (ξ).	44
2.4	(a) Outage probability for different values of Rician factor (ξ), (b) SER performance for different values of N for 4-PSK with $\xi = 1$	45
3.1	Illustration of a STAR-RIS system with two clusters of users at receiver.	49
3.2	Average BER vs p_1 from 0 to 0.5 in steps of 0.01 for a fixed SNR = -10 dB.	55
3.3	BER performance of STAR-RIS NOMA IM for increasing N with $N_r = 8$, $\xi = 1$, pSIC represents perfect SIC, ipSIC represents imperfect SIC.	56
3.4	BER performance of STAR-RIS NOMA IM for increasing ξ with $N_r = 8$, $N = 64$	57
3.5	BER performance of STAR-RIS NOMA IM for increasing N_r	57
4.1	Illustration of an RIS-assisted downlink system with hybrid relay network.	63
4.2	Outage Probability HDR vs FDR mode.	78
4.3	Ergodic Sum Capacity comparison of HDR and FDR mode.	79

4.4	Effect of self-interference on outage probability of UE2.	80
4.5	Effect of self-interference on ergodic sum capacity in FDR mode.	80
4.6	Ergodic sum capacity comparison of RSMA vs NOMA.	81
5.1	Illustration of an RIS-assisted AmBC system.	88
5.2	Analytical and histogram unconditional PDF of W for $N = 64$. Both convolution based and gamma approximation are plotted.	92
5.3	Outage probability versus P_s for different values of rates, R	109
5.4	Outage probability versus P_s for linear and non-linear EH.	110
5.5	Average achievable rate versus P_s for IBL when $N = 64$	112
5.6	Average achievable rate versus P_s for varying ϵ and M_b	112
5.7	Average decoding error probability versus P_s at $\mu = 100$ and $n_b = 30$. . .	114
5.8	Average decoding error probability versus channel uses, μ and number of bits, n_b	114
5.9	Goodput versus P_s for varying $\mathcal{R}$	115
5.10	Goodput versus P_s for varying N at $\mathcal{R} = 0.4$, $M_b = 100$	115

List of Tables

1.1	Comparison of passive, active, and STAR-RIS	7
-----	---	---

List of Symbols

$\mathbf{x}$	a vector
$\mathbf{X}$	a matrix
$\mathbf{I}$	Identity Matrix
$\text{diag}(\cdot)$	Standard diagonalization operation on a vector
$\lfloor a \rfloor$	Integer closest to a that is less than or equal to a
$\mathbb{C}^{m \times n}$	$m \times n$ complex space
$ \cdot $	Absolute value
$\ \cdot\ $	Euclidean norm
$(\cdot)^T$	Transpose operator
$(\cdot)^H$	Hermitian transpose operator
$(\cdot)^*/\text{conj}(\cdot)$	Conjugate operator
$\Pr(x)$	Probability of x
$f_X(x)$	Probability density function of a random variable X
$F_X(x)$	Cumulative distribution function of a random variable X
$Q_X(x)$	Complementary cumulative distribution function of a random variable X
$\mathbb{E}[X]$	Expectation of a random variable X
$\text{var}[X]$	Variance of a random variable X
$\mathcal{CN}(\mu, \sigma^2)$	Complex Gaussian distribution with mean μ and variance σ^2
$\Gamma(\cdot)$	Gamma function
$\Gamma(\cdot, \cdot)$	Upper incomplete gamma function
$\gamma(\cdot, \cdot)$	Lower incomplete gamma function
$K_n(\cdot)$	Modified Bessel function of the second kind of order n
$W_{m,n}(\cdot)$	Whittaker function
$I_n(\cdot)$	Modified Bessel function of the first kind of order n

$\mathcal{Q}_n(\cdot, \cdot)$	Marcum Q -function of order n
$\exp(x)$	Exponential function e^x
$\operatorname{erf}(\cdot)$	Error function
${}_2F_1(\cdot; \cdot; \cdot)$	Hypergeometric function
$\log_a(\cdot)$	Logarithmic function with base a

List of Abbreviations

2G	Second-Generation
5G	Fifth-Generation
6G	Sixth-Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
mmWave	Millimeter Wave
MIMO	Multiple-Input-Multiple-Output
URLLC	Ultra-Reliable Low Latency Communication
IoT	Internet-of-Things
RIS	Reconfigurable Intelligent Surface
STAR-RIS	Simultaneously Transmitting and Reflecting Reconfigurable Intelligent Surface
TDMA	Time Division Multiple Access
OMA	Orthogonal Multiple Access
NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access
PD-NOMA	Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access
RSMA	Rate-Splitting Multiple Access
AmBC	Ambient Backscatter Communication
IBL	Infinite Blocklength
FBL	Finite Blocklength
ES	Energy Splitting
MS	Mode Switching
TS	Time Switching
T-mode	Transmission mode
R-mode	Reflection mode
SC	Superposition Coding
SIC	Successive Interference Cancellation

IM	Index Modulation
SM	Spatial Modulation
R-SM	Receive Spatial Modulation
SSK	Space Shift Keying
SISO	Single-Input Single-Output
BER	Bit-Error Rate
I/Q	In-Phase and Quadrature-Phase
RF	Radio Frequency
CSI	Channel State Information
LoS	Line-of-Sight
NLoS	Non Line-of-Sight
PSK	Phase Shift Keying
MLD	Maximum Likelihood Detector
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
SNR	Signal-to-Noise Ratio
STBC	Space-Time Block Code
SER	Symbol Error Rate
AWGN	Additive White Gaussian Noise
i.i.d.	Independent and Identical Distribution
MRC	Maximal Ratio Combining
PDF	Probability Density Function
PHY	Physical Layer
DF	Decode-and-Forward
HDR	Half-Duplex Relaying
FDR	Full-Duplex Relaying
AF	Amplify-and-Forward
HRN	Hybrid Relay Networks
CDRT	Coordinated Direct and Relay Transmission
DoF	Degree of Freedom
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
ZF	Zero Forcing
MRT	Maximum Ratio Transmission
BS	Base Station
CSI	Channel State Information
SINR	Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio

CDF	Cumulative Distribution Function
UE	User Equipment
RFID	Radio Frequency Identification
WiFi	Wireless Fidelity
D2D	Device-to-Device
CSIT	Channel State Information at Transmitter
CSIR	Channel State Information at Receiver
BLER	Block Error Rate
EH	Energy Harvesting