دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

جبران تداخلهای بین حاملی و بین بلوکی و عدم توازن IQ برای سامانه های MIMO-OFDM درکانالهای دوگانه انتخابی

رساله دکترای مهندسی برق

مجتبی بهشتی

استاد راهنما

دکتر محمدجواد امیدی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

جبران تداخلهای بین حاملی و بین بلوکی و عدم توازن IQ برای سامانه های MIMO-OFDM درکانالهای دوگانه انتخابی

رساله دکترای مهندسی برق

مجتبی بهشتی

استاد راهنما

دکتر محمدجواد امیدی

۱۳۹۰

تشکر و قدردانی

خدای بزرگ را سپاس می گویم که مرا توفیق داد تا تحصیلاتم را در نخستین سالهای پیروزی انقلاب اسلامی ایران به رهبری حضرت امام خمینی (ره)، آغاز کرده و در دوران تثبیت نظام اسلامی به رهبری حضرت آیت الله خامنه ای، به پایان رسانم. آری، هذا من فضل ربی.

از آموزگارانم در مراحل مختلف تحصیل بویژه کسانی که مرا در سفر دوره دکترا یاری نموده اند، قدردانی می کنم.

در ابتدا از استاد راهنمای رساله، آقای دکتر محمد جواد امیدی برای امید دهی، حمایت پیوسته و دیدگاه های ارزنده شان تشکر می کنم. مسیر دکترا از تعریف تا دفاع، با خاطره هایی خوب از شما همراه بود. شما یک دوست بزرگ نیز بودید.

انجام این تحقیق، بدون همکاری نزدیک با استاد مشاور رساله، آقای دکتر علیمحمد دوست حسینی، ممکن نبود. از شما به خاطر در اختیار گذاردن تجربه های ارزشمند و نظرات دقیقتان در فرازهای مختلف تحقیق، صمیمانه قدردانی می نمایم.

از داوران گرامی، آقایان دکتر حسین ضمیری، دکتر محمد علی خسروی فرد و دکتر پاینیز عزمی برای فرصتهایی که در مطالعه و ارزیابی گزارش تحقیق صرف نمودند، سپاسگزارم. بزرگواری و اخلاق نیک شما در جلسه دفاع، همراه با کارشناسی دقیق، همواره در یاد می ماند.

همچنین از استادان محترم شرکت کننده در جلسه دفاع، آقایان دکتر بهروز فرهنگ، دکتر حسین سعیدی و دکتر اکبر ابراهیمی تشکر می کنم. از دوستان شرکت کننده در جلسه دفاع بویژه آقایان مهندس اخلاقی، نیکوکاران، کاظمی، دانشور، جعفری و امین الرعایا نیز متشکرم. حضور شما، جلسه دفاع را گرمی و صفا داد.

از دوست گرامی دوره دکترا، آقای دکتر حمید سعیدی سپاسگزارم. همراهی و همدلی برادرانه شما، گذراندن ماههای آخر را آسان کرد و تدوین گزارش رساله و برگزاری جلسه دفاع را سرعت بخشید.

لطف فراوان اساتید و کارمندان محترم دا وه برق و کا قه بویژه کارمندان گرامی دستر تحصیلات تکمیلی، سرکار خانم نکویی و سرکار خانم مطاشی نیز شایسته سپاس است.

همچنین از تر و مادر گرامی ام، آقای علی اکبر آشتی و خانم رادی، مسیار متشکرم. شما الف قامتان را دا ز کردید تا من با تکیه بر وجود شما قامت بکشم و شکوفا شوم. از خانواده محترم همسرم نیز سپاسگزارم. محبت پیوسته، دعای خیر و همدلی شما، همواره از تپه های مسیر را آسان می کرد.

از فرزندان عزیزم، مینا و مریم تشکر می کنم. حضور زنده و پرجوش و تپرینی دوره عمومی شما، شادی بخش دوره دکترا بود. خوشحالی شما هنگام از جلسه دفاع نیز، صحنه ای به یاد ماندنی آفرید.

در پایان اما نه بیشتر، همراهی، همدلی و لطف همه جانبه همسر عزیزم، خانم شاه محمدی را سپاس می گویم. گذراندن این سفر یکه فی بدون همراهی، تراکاری خارق العاده و محبت بی پایان شما ممکن نبود.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این رساله متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. این رساله با حمایت مادی و معنوی مرکز تحقیقات مخابرات ایران انجام شده است.

تقدیم

اُقَدِّمُ الی الْحُسَيْنِ الَّذی سَمَحَتْ نَفْسُهُ بِمُهْجَتِهِ، ومَنْ جَعَلَ اللهُ الشِّفآءَ فی تُرْبَتِهِ، ومَنِ الأجابَةُ تَحْتَ قُبَّتِهِ، وابْنِ جَنَّةِ الْمَأْوي، وابْنِ زَمْزَمَ وَ الصَّفا، والْمُرَمَّلِ بِالدِّمآءِ، والْمَهْتُوكِ الْخِبآءِ، وغَريبِ الْغُرَبآءِ، وشَهيدِ الشُّهَدآءِ، وساكِنِ كَرْبَلآءَ، ومَنْ بَكَتْهُ مَلائِكَةُ السَّمآءِ، ويَعْسُوبِ الدّينِ، والْجُيُوبِ الْمُضَرَّجاتِ، والشِّفاهِ الذّابِلاتِ، والنُّفُوسِ الْمُصْطَلَماتِ، والأَرْواحِ الْمُخْتَلَساتِ، والأَجْسادِ الْعارياتِ، والْجُسُومِ الشّاحِباتِ، والدِّمآءِ السّآئِلاتِ، والأَعْضآءِ الْمُقَطَّعاتِ، والرُّؤُوسِ الْمُشالاتِ، والنِّسْوَةِ الْبارِزاتِ، والْقَتيلِ الْمَظْلُومِ، وأخيهِ الْمَسْمُومِ، وعَلِيّ الْكَبيرِ، والرَّضيعِ الصَّغيرِ، والأَبْدانِ السَّليبَةِ، والْعِتْرَةِ الْقَريبَةِ، والْمُجَدَّلينَ فِي الْفَلَواتِ، والنّازِحينَ عَنِ الأَوْطانِ، والْمَدْفُونينَ بِلاأَكْفانِ ، والرُّؤُوسِ الْمُفَرَّقَةِ عَنِ الأَبْدانِ، ومَنْ طَهَّرَهُ الْجَليلُ، ومَنِ افْتَخَرَ بِهِ جَبْرَئيلُ، ومَنْ ناغاهُ فِي الْمَهْدِ ميكآئيلُ، ومَنْ نُكِثَتْ ذِمَّتُهُ، ومَنْ هُتِكَتْ حُرْمَتُهُ، ومَنْ أُريقَ بِالظُّلْمِ دَمُهُ، والْمُغَسَّلِ بِدَمِ الْجِراحِ، ومَنْ دَفَنَهُ أَهْلُ الْقُري، والْمَقْطُوعِ الْوَتينِ، والْمُحامي بِلا مُعينٍ، والشَّيْبِ الْخَضيبِ، والْخَدِّ التَّريبِ، والْبَدَنِ السَّليبِ، والثَّغْرِ الْمَقْرُوعِ بِالْقَضيبِ، والرَّأْسِ الْمَرْفُوعِ، والأَجْسامِ الْعارِيَةِ فِي الْفَلَواتِ.

و

اُقَدِّمُ الی مُحَمَّدخاتَمِ النَّبِيّينَ ، وعَلِيّ أميرِالْمُؤْمِنينَ، وفاطِمَةَ سَيِّدَةِ نسآءِ الْعالَمينَ ، والْحَسَنِ الزَّكِيِّ عِصْمَةِ الْمُتَّقينَ، و أَبي عَبْدِاللهِ الْحُسَيْنِ أَكْرَمِ الْمُسْتَشْهَدينَ ، وعَلِيِّ بْنِ الْحُسَيْنِ زَيْنِ الْعابِدينَ ، ومُحَمَّدِ بْنِ عَلِيّ قِبْلَةِ الأَوّابينَ، وجَعْفَرِ بْنِ مُحَمَّد أَصْدَقِ الصّادِقينَ ، ومُوسَي بْنِ جَعْفَر مُظْهِرِ الْبَراهينِ، وعَلِيِّ بْنِ مُوسي ناصِرِالدّينِ، ومُحَمَّدِبْنِ عَلِيّ قُدْوَةِ الْمُهْتَدينَ، وعَلِيِّ بْنِ مُحَمَّد أَزْهَدِ الزّاهِدينَ ، والْحَسَنِ بْنِ عَلِيّ وارِثِ الْمُسْتَخْلَفينَ، والْحُجَّةِ عَلَي الْخَلْقِ أَجْمَعينَ.

(برگرفته از زیارت ناحیه مقدسه)

فهرست مطالب

نمادها یازده

چکیده ۱

فصل اول مقدمه ۲

۱—۱ هدف تحقیق ۳

۱—۲ رویکرد رساله ۵

۱—۳ اهمیت و کاربرد نتایج ۶

۱—۳—۱ اهمیت و کاربرد در مخابرات بیسیم رادیویی ۶

۱—۳—۲ اهمیت و کاربرد در مخابرات آکوستیکی زیرآبی ۷

۱—۴ ساختار رساله ۷

فصل دوم کانالهای دوگانه انتخابی ۱۰

۲—۱ پدیده محوشدگی ۱۰

۲—۲ مدل گسسته—زمان کانال ۱۱

۲—۳ پارامترهای کانال و دسته‌بندی کانالها ۱۳

۲—۴ مدلهای مرسوم کانال ۱۷

۲—۵ مدل بسط پایه‌ای ۱۸

۲—۵—۱ مدل بسط پایه‌ای نمایی مختلط ۱۹

۲—۶ دو نمونه از کانالهای دوگانه انتخابی ۲۶

۲—۶—۱ کانال رادیویی بیسیم ۲۶

۲—۶—۲ کانال آکوستیکی زیرآبی ۲۸

فصل سوم معرفی MIMO—OFDM ۳۲

۳—۱ تاریخچه OFDM ۳۲

۳–۲ ساختار OFDM ۳۵
۳–۳ OFDM همراه MIMO ۳۸

فصل چهارم روشهای موجود همسانسازی برای OFDM ۴۱
۴–۱ کاستیهای OFDM ۴۲
۴–۱–۱ آفست فرکانسی حامل ۴۲
۴–۱–۲ گسترش داپلر ۴۲
۴–۱–۳ آفست زمان نمونه برداری ۴۲
۴–۱–۴ نویز فاز ۴۳
۴–۱–۵ نسبت توان اوج به توان متوسط بالا ۴۳
۴–۱–۶ عدم توازن IQ ۴۳
۴–۱–۷ ناکافی بودن CP ۴۴
۴–۲ مرور همسانسازی OFDM در کانال رادیویی ۴۴
۴–۳ مرور همسانسازی OFDM در کانال آکوستیکی ۴۶

فصل پنجم روشهای پیشنهادی همسانسازی برای جبران توأم ICI و IBI ۵۰
۵–۱ مدل سامانه MIMO-OFDM ۵۰
۵–۲ همسانسازی حوزه زمان ۵۳
۵–۲–۱ روشهای همسانسازی بلوکی ۵۳
۵–۲–۲ روشهای همسانسازی per-tone ۵۸
۵–۲–۳ معادل بودن همسانسازهای پیشنهادی حوزه زمان ۶۳
۵–۳ همسانسازی حوزه فرکانس ۶۶
۵–۳–۱ روش پیشنهادی برای جبران توأم ICI و IBI ۶۶
۵–۳–۲ ساختار تعمیم یافته ۷۰
۵–۴ مقایسه‌ی پیچیدگی روشها ۷۱
۵–۵ نتیجه‌گیری ۷۳

فصل ششم نتایج شبیه‌سازی روشهای همسانسازی در حضور ICI و IBI ۷۵
۶–۱ شبیه‌سازی برای کانال رادیویی بیسیم ۷۵
۶–۱–۱ مدل و پارامترهای شبیه‌سازی ۷۵
۶–۱–۲ نتایج شبیه‌سازی ۷۶
۶–۲ شبیه‌سازی برای کانال آکوستیکی زیرآبی ۸۲

۶–۲–۱ مدل و پارامترهای شبیه‌سازی ۸۲
۶–۲–۲ نتایج شبیه‌سازی ۸۴
۶–۳ نتیجه‌گیری ۸۸

فصل هفتم همسانسازی برای MIMO-OFDM در حضور عدم توازن IQ و IBI/ICI ۹۰
۷–۱ معرفی عدم توازن IQ ۹۰
۷–۲ مدلسازی عدم توازن IQ ۹۵
۷–۳ همسانسازی در کانالهای فرکانس – انتخابی ۱۰۱
۷–۴ همسانسازی در کانالهای دوگانه انتخابی ۱۰۴
۷–۴–۱ CP کافی ۱۰۵
۷–۴–۲ CP ناکافی ۱۰۷
۷–۵ نتایج شبیه‌سازی ۱۱۳
۷–۶ نتیجه‌گیری ۱۱۵

فصل هشتم نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۱۸
۸–۱ نتیجه‌گیری ۱۱۸
۸–۲ پیشنهادها ۱۲۰

پیوست الف ۱۲۱

پیوست ب ۱۲۳

مراجع ۱۲۴

نمادها

نمادهای ریاضی

x	اسکالر
$\mathbf{x}$	بردار ستونی $\mathbf{x}$
$[\mathbf{x}]_i$	درایه i ام بردار $\mathbf{x}$
$\|\mathbf{x}\|$	نرم یا طول بردار $\mathbf{x}$
$\mathbf{A}$	ماتریس $\mathbf{A}$
$[\mathbf{A}]_{i,j}$	درایه روی سطر i ام و ستون j ام ماتریس $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^T$	ترانهاده ماتریس $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^*$	مزدوج مختلط ماتریس $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^H$	هرمیتین ماتریس $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^\dagger$	شبه وارون ماتریس $\mathbf{A}$
$\text{tr}\{\mathbf{A}\}$	رد ماتریس $\mathbf{A}$
$\text{diag}\{\mathbf{x}\}$	ماتریس قطری مربع با بردار $\mathbf{x}$ روی قطر
$\mathbf{A} \otimes \mathbf{B}$	ضرب کرونیکر ماتریسهای $\mathbf{A}$ و $\mathbf{B}$
$\mathbf{0}_{m \times p}$	ماتریس تمام صفر $m \times p$
$\mathbf{I}_m$	ماتریس واحد $m \times m$
$\bar{\mathbf{I}}_m$	ماتریس واحد ضد قطری $m \times m$
$\boldsymbol{\mathcal{F}}$	ماتریس DFT یکانی
$\boldsymbol{\mathcal{F}}^{(k)}$	سطر $(k+1)$ ام ماتریس DFT یکانی
$\Re\{z\}$	جزء حقیقی عدد مختلط z
$\Im\{z\}$	جزء موهومی عدد مختلط z
x^*	مزدوج مختلط x
$\hat{x}$	تخمین x

$\lfloor x \rfloor$	بزرگترین عدد صحیح کوچکتر یا مساوی x
$\lceil x \rceil$	کوچکترین عدد صحیح بزرگتر یا مساوی x
$\lvert x \rvert$	قدر مطلق x
$\mathcal{E}\{\cdot\}$	عملگر امید ریاضی
σ_x^2	واریانس x
$x(t)$	سیگنال پیوسته زمان باند پایه
$x_1(t) * x_2(t)$	کانولوشن خطی $x_1(t)$ و $x_2(t)$

نمادهای ثابت

T	زمان نمونه برداری
W	پهنای باند سامانه
c_0	سرعت نور
f_c	فرکانس حامل
$\tau_{\max}$	گستره تأخیر بیشینه کانال
$f_{\max}$	گستره داپلر بیشینه کانال
T_c	زمان همدوسی کانال
B_c	پهنای باند همدوسی کانال
L	مرتبه کانال
N_t	تعداد آنتنها یا ترانسدیوسرهای ارسال
N_r	تعداد آنتنها یا ترانسدیوسرهای دریافت
N	تعداد کل زیرحاملها
c	طول پیشوند چرخشی (CP)
T_B	دوره زمانی بلوک OFDM

نشانهای کوتاه

3GPP	Third Generation Partnership Project
ADC	Analog-to-Digital Converter
ADSL	Asymmetric Digtal Subscriber Line
AFE	Analog Front End
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BEM	Basis Expansion Model
BER	Bit Error Rate
BPF	BandPass Filter
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BRAN	Broadband Radio Access Networks
CCI	Cochannel Interference
CDMA	Code Division Multiple Access
CE-BEM	Complex Exponential-BEM
CFO	Carrier Frequency Offset
CIQCH	Combined IQ imbalance and CHannel
CP	Cyclic Prefix
CR	Cognitive Radio
CSI	Channel State Information
DAB	Digital Audio Broadcasting
DAC	Digital-to-Analog Converter
DFT	Discrete Fourier Transform
DKL-BEM	Discrete Karhunen Loeve-BEM
DMT	Discrete Multi-Tone
DPS-BEM	Discrete Prolate Spheroidal-BEM
DPSK	Differential Phase Shift Keying
DUS	Delay Uncorrelated Scattering
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial
DVB-H	Digital Video Broadcasting-Handheld
ELF	Extremely Low Frequency
EQCS	EQualization and Compensation Scheme
ETSI	European Telecommunications Standard Institute
FD	Frequency Dependent
FE	Front End
FEQ	Frequency-domain EQualizer
FFT	Fast Fourier Transform
FI	Frequency Independent
FIR	Finite Impulse Response
FPEQ	Frequency-domain Per-tone EQualizer
FSK	Frequency Shift Keying
FUS	Frequency Uncorrelated Scattering

HDSL	High-bit-rate Digtal Subscriber Line
HIPERLAN	HIgh PErformance Radio LAN
IAI	Inter-Antenna Interference
IBI	Inter-Block Interference
ICI	Inter-Carrier Interference
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform
IF	Intermediate Frequency
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
i.i.d.	independent and identically distributed
IQ	In-phase and Quadrature-phase
ISI	Inter-Symbol Interference
LDPC	Low-Density Parity-Check
LMS	Least Mean Square
LNA	Low-Noise Amplifier
LO	Local Oscillator
LPF	LowPass Filter
LST	Layered Spac-Time
LTE	Long Term Evolution
MA	Multiply Add
MC-CDMA	MultiCarrier CDMA
MCM	MultiCarrier Modulation
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
ML	Maximum Likelihood
MLSE	ML Sequence Estimator
MMSE	Minimum Mean-Square Error
MSE	Mean-Square Error
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAPR	Peak to Average Power Ratio
P-BEM	Polynomial-BEM
PLL	Phase Locked Loop
P/S	Parallel-to-Serial converter
PTEQ	Per-Tone EQualizer
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RF	Radio Frequency
RLS	Recursive Least Squares
RMS	Root Mean Square
SC-FDE	Single Carrier Frequency-Domain Equalization
SDR	Software Defined Radio
SFFT	Sliding FFT
SFG	Signal-Flow Graph
SINR	Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio
SIMO	Single-Input Multiple-Output

SISO	Single-Input Single-Output
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SSB	Single Sideband
STBC	Space-Time Block Code
STC	Space-Time Coding
TBEQ	Time-domain Block EQualizer
TCM	Trellis Coded Modulation
TEQ	Time-domain EQualizer
TI	Time-Invariant
TPEQ	Time-domain Per-tone EQualizer
TV	Time-Variant
US	Uncorrelated Scattering
UWA	Underwater Acoustic
UWB	Ultra Wideband
VDSL	Vrey-high-speed Digtal Subscriber Line
VGA	Variable Gain Amplifier
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WSSUS	Wide Sense Stationary US
ZF	Zero Forcing
ZP-OFDM	Zero-padded OFDM

چکیده

سامانه‌های MIMO-OFDM در کاربردهای نوین مخابرات بیسیم با کانالهایی روبرو می‌شوند که زمان و فرکانس– انتخابی یا دوگانه انتخابی هستند. زمان– انتخابی بودن کانال، موجب گسترش داپلر شده، تعامد زیرحاملهای OFDM را بر هم می‌زند و تداخل بین حاملی (ICI) به وجود می آورد. فرکانس– انتخابی بودن کانال نیز در صورت کافی نبودن طول پیشوند چرخشی (CP)، تداخل بین بلوکی (IBI) ایجاد می‌کند. در چنین شرایطی، همسانساز ساده‌ی تک شیری OFDM، کارایی خود را از دست می‌دهد و نیاز به شیوه‌های دیگر همسانسازی مطرح می‌گردد. این رساله به همسانسازی MIMO-OFDM در حضور ICI و IBI می‌پردازد و روشهایی در حوزه‌های زمان و فرکانس برای جبران این تداخلها پیشنهاد می‌نماید. در طراحی روشهای پیشنهادی، از حالت عمومی مدل بسط پایه‌ای (BEM) برای نمایش کانال دوگانه انتخابی استفاده می‌شود. همچنین ارتباط همسانسازهای پیشنهادی با طرحهای موجود، بررسی می‌گردد و کارایی آنها به کمک شبیه‌سازی کامپیوتری ارزیابی می‌شود. در شبیه‌سازیها، دو دسته از کانالهای دوگانه انتخابی (رادیویی بیسیم و آکوستیکی زیر آبی) در نظر گرفته می‌شود و نشان داده می‌شود که همسانسازهای پیشنهادی، تداخل را بخوبی جبران می‌کنند. پیاده‌سازی عملی سامانه‌های MIMO-OFDM علاوه بر ICI و IBI، با عدم توازن IQ در اثر ایده آل نبودن عناصر آنالوگ فرستنده/گیرنده نیز روبرو است. عدم توازن IQ کارایی سامانه را بشدت کاهش می‌دهد و جبران آن، روشهای همسانسازی کارامد را می‌طلبد. در این رساله، جبران عدم توازن IQ در سامانه MIMO-OFDM برای یک حالت عمومی مطرح می‌گردد. به بیان دیگر، عدم توازن IQ ناشی از فرستنده و گیرنده شامل عدم توازن مستقل از فرکانس و عدم توازن وابسته به فرکانس در نظر گرفته می‌شود. همچنین تغییرات زمانی کانال و ناکافی بودن طول CP نیز در تحلیل عدم توازن IQ، مورد توجه قرار می‌گیرد و ساختاری برای همسانسازی در حضور این سه پدیده، پیشنهاد می‌گردد. ویژگی جالب ساختار پیشنهادی این است که می‌توان آن را تعمیم یافته‌ی همسانساز حوزه فرکانس پیشنهادی برای جبران IBI/ICI و همچنین چند روش همسانسازی موجود برای جبران عدم توازن IQ یا IBI/ICI دانست. نتایج شبیه‌سازی کامپیوتری نشان می‌دهد که کارایی احتمال خطای بیت (BER) همسانساز پیشنهادی به کارایی سامانه‌ای ایده‌آل با توازن کامل IQ نزدیک است.

کلمات کلیدی: OFDM، MIMO، کانال دوگانه انتخابی، تداخل، همسانسازی

فصل ۱

مقدمه

پیشرفتهای انباشته در قرن گذشته در حوزه‌هایی مانند فناوری نیمه هادی، مدارهای مجتمع، سامانه‌های مخابراتی و نظریه اطلاعات و هم افزایی بین این پیشرفتها به پیدایش تجهیزات مخابراتی مشتری—محور با قابلیت و کارامدی بالا و هزینه‌های مناسب انجامیده است. این تحولات، شبکه‌های فردی، محلی و منطقه‌ای را در شبکه‌ای یکپارچه به نام اینترنت گرد هم آورده و همگرایی کاربردهای گوناگون مانند صوت، تصویر، فیلم و داده را ممکن نموده است.

تمایل به برقراری ارتباط شبکه‌ای بی‌درنگ در هر جا و هر زمان، ارتباطی بیسیم و سیار را می‌طلبد و انگیزه‌ای اساسی برای رشد آینده‌ی صنعت مخابرات است. برای برقراری چنین ارتباطی، صنعت مخابرات با محدودیتها و چالشهای عملی روبرو است. مهمترین منبعی که باید در آن صرفه جویی نمود، پهنای باند است. منبع مهم دیگر، توان مصرفی شامل توان لازم برای ارسال سیگنال روی محیط فیزیکی و توان لازم برای پردازش سیگنال است. فناوریهای نوین مخابرات مانند مدولاسیون چند حاملی(MCM)[۱] به شکل OFDM[۲] [۱]، ارسال و دریافت چند آنتنی به صورت MIMO [۳] [۲]، مخابرات باند بسیار وسیع (UWB)[۴] [۳] و رادیوی شناختمند (CR)[۵] [۴]، برای افزایش بهره‌وری از منابع محدود و به منظور غلبه بر چالشهای عملی مخابرات بیسیم پدید آمده‌اند.

از سوی دیگر، پژوهشهای گسترده‌ای با هدف افزایش کارایی و بهره‌دهی سامانه‌های بیسیم در حال انجام است که بر بهبود الگوریتمهای آشکارسازی سیگنال و کاهش اثرات کاستیهای [۶] مخابرات بیسیم تمرکز یافته

[۱] Multicarrier modulation
[۲] Orthogonal frequency division multiplexing
[۳] Multiple-input multiple-output
[۴] Ultra wideband
[۵] Cognitive radio
[۶] Impairments

است. مثالهایی از این کاستیها عبارتند از: آفست زمانبندی و فرکانسی، نویز فاز، عدم توازن دامنه و فاز و اثرات انتشار در کانال بیسیم. دو پدیده‌ی مهم در کانال بیسیم، انتشار چند مسیری[۱] و تغییرات زمانی است. انتشار چند مسیری، نتیجه‌ی بازتابهای مختلف از اشیای فیزیکی موجود در محیط است که می‌تواند به تغییرات فرکانسی کانال روی پهنای باند سیگنال ارسالی بیانجامد. در این حالت، کانال را فرکانس—انتخابی می‌نامند. تغییرات زمانی کانال از جابجایی نسبی فرستنده—گیرنده یا تغییرات محیطی ناشی می‌شود و نتیجه آن، تغییر ویژگیهای کانال در بازه یک یا چند نماد است. چنین کانالی، زمان—انتخابی نامیده می‌شود. سامانه‌های مخابراتی آینده که سرویسهای نرخ بالا را در سناریوهای متحرک پشتیبانی می‌کنند، با کانالهای دوگانه انتخابی [۲] (فرکانس—انتخابی و زمان—انتخابی) روبرو می‌شوند.

این رساله به بررسی و جبران برخی از کاستیهای عملی سامانه‌های MIMO—OFDM در کانالهای دوگانه انتخابی می‌پردازد. در بخش اول این فصل، هدف رساله شرح داده می‌شود. بخش دوم، رویکرد رساله را ارائه می‌نماید و بخش سوم، اهمیت و کاربرد نتایج را بیان می‌کند. فصلهای رساله، در بخش چهارم مرور می‌شود.

۱—۱ هدف تحقیق

OFDM به عنوان یک فناوری کارامد برای مخابرات دیجیتال شناخته شده است [۵]. OFDM به صورت تجاری در شبکه‌های محلی بیسیم HIPERLAN/2 و IEEE 802.11a، پخش صوت دیجیتال زمینی DAB—T و پخش ویدیوی دیجیتال زمینی DVB—T به کار می‌رود و مدولاسیون برگزیده برای شبکه‌های شهری بیسیم IEEE 802.16 است. همچنین OFDM برای استاندارد سیار بیسیم باند وسیع IEEE 802.20، UWB و LTE[۳] مورد توجه قرارگرفته است [۶] و [۷]. در OFDM از تبدیل فوریه سریع (FFT)[۴] برای ارسال موازی داده‌ها روی تعداد زیادی حامل استفاده می‌گردد. در کانالهای فرکانس—انتخابی تغییر ناپذیر با زمان(TI)[۵] ، اگر تعداد مناسبی از زیرحاملها همراه پیشوند چرخشی(CP)[۶] با طول کافی به کار روند، تعامد بین زیرحاملها حفظ می‌شود و می‌توان از یک همسانساز ساده‌ی تک شیری[۷] برای جبران اعوجاج در هر زیر کانال بهره برد. در بسیاری از کاربردهای مخابرات دیجیتال، تغییرات زمانی کانال و ناکافی بودن طول پیشوند چرخشی به از دست رفتن تعامد زیرحاملها می‌انجامد و بنابراین کارایی همسانساز ساده‌ی تک شیری را بشدت کاهش می‌دهد.

تغییرات زمانی کانال معمولاً از تغییرات محیط، تحرک[۸] فرستنده/ گیرنده و آفست فرکانسی ناشی

[۱] Multipath propagation
[۲] Doubly-selective
[۳] Long-term evolution
[۴] Fast Fourier transform
[۵] Time-invariant
[۶] Cyclic prefix
[۷] One-tap equalizer
[۸] Mobility

می‌شود. اگر دوره زمانی بلوک OFDM از زمان همدوسی کانال کوچکتر باشد، کانال را می‌توان در طول بلوک، ثابت فرض نمود. این فرض نیز، همسانساز را به فیلتر تک شیری در هر زیرکانال کاهش می‌دهد. تغییرات زمانی کانال در طول بلوک OFDM، به از دست رفتن تعامد زیر حاملها و در نتیجه ایجاد تداخل بین حاملی (ICI)[۱] می‌انجامد. شدت ICI به گستره‌ی داپلر[۲] کانال و طول بلوک OFDM وابسته است. تغییرات زمانی کانال در طول بلوک OFDM به همراه تغییرات فرکانسی، یک کانال دوگانه انتخابی (زمان و فرکانس انتخابی) را نتیجه می‌دهد. در ارسال OFDM روی کانال دوگانه انتخابی، اگر طول CP نیز مناسب نباشد، تداخل بین بلوکی (IBI)[۳] به وجود می‌آید که به ICI افزوده می‌شود و در نتیجه داده‌های ارسالی را نمی‌توان با یک همسانساز ساده‌ی تک شیری بازیابی نمود. ناکافی بودن طول CP به دلیلهای گوناگون می‌تواند رخ دهد. برای مثال، ممکن است یک سامانه مخابراتی در بازه‌ای از گستره‌های تأخیر[۴] بزرگتر از بازه‌ی درنظر گرفته شده در هنگام طراحی، به کار گرفته شود. حالت دیگر اینکه در بسیاری از سامانه‌ها، انتخاب طول CP، مبادله‌ای بین میزان حذف IBI و بازدهی طیف است. به عبارت دیگر، CP نباید برای بدترین وضعیت کانال طراحی شود زیرا ممکن است بازدهی طیف را کاهش دهد.

پیشرفتهای جدید روشهای MIMO ، بهبود چشمگیر کارایی سامانه‌های OFDM را ممکن نموده است. سامانه‌های MIMO را می‌توان به روشهای متفاوتی پیاده‌سازی نمود تا به بهره‌ی چندگانگی[۵] برای مقابله با محوشدگی و/ یا افزایش ظرفیت دست یافت. MIMO−OFDM یک فناوری پیشرو برای دستیابی به نرخ بیتهای بالا در مخابرات نوین به شمار می‌رود.

در این تحقیق، گامهایی برای استفاده بهینه از پهنای باند کانال و افزایش نرخ مفید قابل ارسال، برداشته می‌شود. به طور مشخص، کاربرد MIMO−OFDM در دو دسته از کانالهای دوگانه انتخابی یعنی کانالهای رادیویی بیسیم و کانالهای آکوستیکی زیرآبی (UWA)[۶] بررسی می‌گردد و روشهایی برای غلبه بر کاستیهای عملی سامانه‌های MIMO−OFDM در این کانالها ارائه می‌شود. اهداف رساله به بیان دقیق‌تر عبارتند از:

الف− ارائه روشهای همسانسازی مناسب برای جبران تداخلهای بین حاملی و بین بلوکی و عدم توازن IQ در سامانه MIMO−OFDM

روشهای معمول حذف تداخل بین حاملی (ICI)، طول CP را بیش از گستره تأخیر کانال فرض می‌کنند. بنابراین تداخل بین بلوکی (IBI) وجود نخواهد داشت. از طرفی در روشهای معمول حذف IBI فرض می‌شود که کانال در طول یک بلوک OFDM ثابت بماند تا بتوان از ICI ناشی از تغییرات زمانی کانال صرفنظر نمود. در بخش اول این رساله، یک حالت کلی مسأله در نظر گرفته می‌شود یعنی فرض می‌گردد کانال در طول هر بلوک OFDM تغییر نماید و طول CP نیز کوچکتر از گستره تأخیر کانال باشد.

[۱] Intercarrier interference
[۲] Doppler spread
[۳] Interblock interference
[۴] Delay spread
[۵] Diversity
[۶] Underwater acoustic