دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد مخابرات سیستم

عنــوان

تخمین توأم کانال و آفست فرکانس حامل در سیستم های MIMO-OFDM

نــگارش

مسعود حیدرزاده

استاد راهنما

دکتر سهیل سالاری

بهمن ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که زندگی فرزندان را به زندگی خود ترجیح دادند

تائیدیه هیات داوران

هیات داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان: تخمین توأم کانال و آفست فرکانس حامل در سیستم های MIMO-OFDM توسط آقای مسعود حیدرزاده فرخانی صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی در رشته: مخابرات، گرایش: سیستم با رتبه: مورد تائید قرار می دهند.

۱. استاد راهنما	جناب آقای دکتر سهیل سالاری	امضاء
۲. استاد ارزیاب	جناب آقای دکتر محمود احمدیان	امضاء
۳. استاد ارزیاب	جناب آقای دکتر خالقی	امضاء

اظهار نامه دانشجو

این‌جانب **مسعود حیدرزاده** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته **مخابرات** گرایش **سیستم** دانشکده **برق** دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان **تخمین توأم کانال و آفست فرکانس حامل در سیستم های MIMO-OFDM** با راهنمایی استاد محترم جناب آقای **دکتر سهیل سالاری**، توسط این‌جانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب ارائه شده در این پایان‌نامه مورد تأیید این‌جانب می باشد و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. همچنین گواهی می‌نمایم مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط این‌جانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب مصوب دانشگاه را بطور کانال رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو

تاریخ

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی‌برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست. هم‌چنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی باشد.

با تشکر فراوان از جناب آقای دکتر سالاری برادر و استاد ارجمندم که علاوه بر تلاش فراوان در به فرجام رسیدن این پایان‌نامه از نصیحت‌ها و تجربیات گرانبهای خود مرا بهره‌مند کردند و جناب آقای دکتر احمدیان و دوستان آزمایشگاه شناسه و رمز دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی که محیطی آرام و پویا برای انجام این تحقیق فراهم ساختند.

و با سپاس از مرکز تحقیقات مخابرات ایران که این پایان‌نامه را طی قرارداد شماره .....تاریخ .....تحت حمایت مادی و معنوی خود قرار داد.

چکیده

دستیابی به روش‌هایی جهت انتقال نرخ بالای اطلاعات در کانال های فیدینگ چند مسیره یکی از مهمترین اهداف طراحان سیستم های مخابراتی است. در این راستا ایده های مختلفی مطرح شده که یکی از جدی ترین آن ها استفاده از مدولاسیون OFDM در سیستم‌های چند آنتنی است. عملکرد سیستم‌های MIMO-OFDM وابستگی زیادی به همزمانی فرستنده و گیرنده دارد. از طرفی برای آشکارسازی همدوس اطلاعات دریافتی باید تخمین دقیقی از وضعیت کانال انتقال بین فرستنده و گیرنده وجود داشته باشد.

بدین جهت تخمین پارامترهای مورد نیاز در فرآیند همزمان سازی و ضرایب کانال از اصلی ترین موضوعات مورد بحث در حوزه MIMO-OFDM می باشد. در سال‌های اخیر به جهت افزایش بازدهی طیفی سیستم ایده تخمین توأم پارامترهای همزمان سازی و ضرایب کانال با استفاده از یک رشته آموزشی مشترک مطرح شده است.

تمام الگوریتم‌های تخمین توأم پارامترهای همزمان‌سازی و ضرایب کانال حال حاضر با فرض یکسان بودن میزان جابجایی فرکانس حامل در تمام آنتن‌های گیرنده و هم چنین فرض هم زمانی کامل فرستنده و گیرنده در حوزه زمان انجام شده است. در این پایان نامه دو نوآوری عمده انجام پذیرفته است:

۱) با فرض استقلال میزان جابجایی فرکانس حامل در آنتن های گیرنده، الگوریتم جدیدی جهت تخمین توأم آفست فرکانس حامل و ضرایب کانال پیشنهاد شده است.

۲) با درنظر گرفتن وجود ابهام زمانی مدل های جدیدی برای سیستم های MIMO-OFDM پیشنهاد و با اتکا بر آن ها الگوریتم‌های جدیدی برای تخمین توأم آفست فرکانس حامل، ضرایب کانال و ابهام زمانی ارائه شده است.

در تمام حالات کران های کرامر-رائو جهت سنجش عملکرد تخمینگرهای پیشنهادی محاسبه شده است. نتایج شبیه سازی های انجام شده کارایی تخمینگرهای پیشنهادی را تأیید می‌کند.

کلمات کلیدی: سیستم‌های چند-ورودی چند-خروجی (MIMO)، مالتی پلکس با تقسیم فرکانس متعامد (OFDM)، ضرایب کانال، آفست فرکانس حامل (CFO)، ابهام زمانی، رشته آموزشی، حداکثر شباهت، الگوریتم EM، کران کرامر-رائو .

فهرست

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- سیستم انتقال MIMO-OFDM ۱

۱-۲- تخمین توأم جابجایی فرکانس حامل و ضرایب کانال در سیستم های MIMO-OFDM ۲

۱-۳- مطالب این پایان نامه ۳

فصل دوم: معرفی سیستم های MIMO-OFDM ۵

۲-۱- مقدمه ۵

۲-۲- محیط انتشار بیسیم ۶

۲-۲-۱- معرفی کانال فیدینگ ۷

۲-۲-۱-۱- گسترش زمانی سیگنال در حوزه تأخیر زمانی ۸

۲-۲-۱-۲- گسترش زمانی سیگنال در حوزهٔ فرکانس ۹

۲-۲-۱-۳- رفتار متغیر بازمان کانال در حوزهٔ زمان ۱۰

۲-۲-۱-۴- رفتار متغیر با زمان کانال در حوزهٔ فرکانس ۱۱

۲-۳- سیستم های OFDM ۱۱

۲-۳-۱- ساختار سیگنال OFDM ۱۵

۲-۳-۲- پیاده سازی OFDM با استفاده از تبدیل فوریه گسسته ۱۷

۲-۴- سیستمهای چند ورودی- چند خروجی ۲۱

۲-۵- نتیجه گیری ۲۴

فصل سوم: همزمان سازی و تخمین کانال در سیستم های مبتنی بر OFDM ۲۵

۳-۱- مقدمه ۲۵

۳-۲- همزمان سازی در سیستم های OFDM ۲۶

۳-۳- تخمین کانال در سیستم های OFDM ۳۳

۳-۳-۱- تخمین با ارسال رشته آموزشی ۳۴

۳-۳-۲- تخمین نیمه کور ۳۵

۳-۳-۳- تخمین کور ۳۶

۳-۴- تخمین توأم CFO و ضرایب کانال در سیستم های OFDM ۳۷

۳-۵- تخمین توأم CFO و ضرایب کانال در سیستم های MIMO-OFDM ۳۹

۳-۶- نتیجه گیری ۴۰

فصل چهارم: تخمین توأم جابجایی فرکانس حامل و ضرایب کانال در سیستم های MIMO-OFDM ۴۱

۴-۱- مقدمه ۴۱

۴-۲- مدل سیستم MIMO-OFDM ۴۳

۴-۳- تخمین توأم CFO و ضرایب کانال با فرض CFO مستقل درآنتن‌های گیرنده ۵۱

۴-۳-۱- مدل سیستم ۵۱

۴-۳-۲- تخمین با معیار حداکثر شباهت ۵۱

۴-۳-۳- تحلیل عملکرد ۵۴

۴-۳-۴- نتایج شبیه سازی ۵۷

۴-۴- تخمین توأم CFO، ضرایب کانال و ابهام زمانی ۶۱

۴-۴-۱- مدل سیستم ۶۲

۴-۴-۲- تخمین توأم CFO، ضرایب کانال و ابهام زمانی ۶۲

۴-۴-۲-۱- تخمین با فرض CFO و ابهام زمانی مشترک در تمام آنتن های گیرنده ۶۳

۴-۴-۲-۲- تخمین با فرض CFO و ابهام زمانی متفاوت در تمام آنتن های گیرنده ۶۶

۴-۴-۳- تخمین توأم ضرایب تأخیر یافته کانال و CFO ۶۷

۴-۴-۴- مقایسه تخمینگرهای JTCCE و JCCE ۷۹

۴-۴-۵- محاسبه کران های کرامر-رائو ۷۱
۴-۴-۵-۱- محاسبه CRB برای روش اول..... ۷۱
۴-۴-۵-۲- محاسبه CRB برای روش دوم ۷۴
۴-۴-۶- نتایج شبیه سازی ۷۵
۴-۴-۶-۱- نتایج شبیه سازی الگوریتم JTCCE..... ۷۶
۴-۴-۶-۲- نتایج شبیه سازی الگوریتم JCCE ۷۹
۴-۵- نتیجه گیری..... ۸۳

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۴
۵-۱- نتیجه گیری ۸۴
۵-۲- پیشنهادات ۸۵

ضمیمه A:تخمین توأم CFO، ضرایب کانال و ابهام زمانی در سیستم SISO-OFDM..... ۸۶
A-۱- مدل سیستم SISO-OFDM با لحاظ کردن ابهام زمانی در شروع پنجره FFT..... ۸۶
A-۲- تخمین توأم ابهام زمانی، ضرایب کانال و CFO ۸۷
A-۳- تخمین توأم ضرایب تأخیر یافته کانال و CFO..... ۸۸

مراجع ۹۰

فهرست شکل ها

شکل (۲-۱) محیط انتشار رادیویی ۸
شکل (۲-۲) مقایسه سیستم FDM و سیستم OFDM در استفاده از پهنای باند ۱۳
شکل (۲-۳) طیف فرکانسی یک بلوک OFDM..... ۱۶
شکل (۲-۴) بلوک OFDM با پیشوند گردشی ۱۸
شکل (۲-۵) فرستنده OFDM ۱۹
شکل (۲-۶) گیرنده OFDM..... ۲۰
شکل (۲-۷) تاثیر جابجایی فرکانس حامل در آشکار سازی در تولید ICI..... ۲۰
شکل (۲-۸) کانال MIMO ۲۲
شکل (۲-۹) فرستنده MIMO-OFDM..... ۲۲
شکل (۲-۱۰) گیرنده MIMO-OFDM ۲۲
شکل (۳-۱) ساختار کلی فرستنده-گیرنده مبتنی بر OFDM..... ۲۷
شکل (۳-۲) دسته بندی انواع روش های همزمان سازی در سیستم‌های مبتنی بر OFDM ۳۰
شکل (۳-۳) ساختار گیرنده پیشنهادی SPETH و سایرین..... ۳۲
شکل (۳-۴) انواع روش های تخمین کانال در سیستم های مبتنی بر OFDM ۳۳
شکل(۳-۵) چینش بلوکی و شانه ای در استاندارد IEEE 802.11A..... ۳۴
شکل (۴-۱) فرستنده و گیرنده MIMO-OFDM با N آنتن فرستنده و M آنتن گیرنده..... ۴۳
شکل (۴-۲) ساختار مورد استفاده جهت ارسال اطلاعات ۴۴
شکل(۴-۳) متوسط مجذور خطای تخمین CFO سیستم با ۶۴ زیر حامل بر حسب تعداد دفعات تکرار الگوریتم EM. ۵۸
شکل(۴-۴) متوسط مجذور خطای تخمین CIR سیستم با ۶۴ زیر حامل بر حسب تعداد دفعات تکرار الگوریتم EM. ۵۹
شکل(۴-۵) متوسط مجذور خطای تخمین CFO در سیستم با ۶۴ زیر حامل بر حسب SNR آنتن گیرنده (مقدار CFO در آنتن های گیرنده مستقل فرض شده است). ۵۹
شکل(۴-۶) متوسط مجذور خطای تخمین CIR در سیستم با ۶۴ زیر حامل بر حسب SNR (مقدار CFO در آنتن های گیرنده مستقل فرض شده است). ۶۰
شکل(۴-۷) متوسط مجذور خطای تخمین CFO در سیستم با ۶۴ زیر حامل بر حسب نسبت CFO آنتن گیرنده دوم به CFO آنتن گیرنده اول. ۶۱

شکل (۴-۸) تفاوت فیزیکی دو تخمینگر JTCCE و JCCE [۳۳] ۷۱
شکل(۴-۹) متوسط مجذور خطای تخمین CFO الگوریتم JTCCE بر حسب تعداد تکرارهای الگوریتم مراحل EM. ۷۶.
شکل(۴-۱۰)) متوسط مجذور خطای تخمین CIR الگوریتم JTCCE الگوریتم EM..... ۷۶
شکل(۴-۱۱) متوسط مجذور خطای تخمین CFO الگوریتم JTCCE بر حسب SNR..... ۷۷
شکل(۴-۱۲) متوسط مجذور خطای تخمین CIR الگوریتم JTCCE بر حسب SNR..... ۷۷
شکل (۴-۱۳) تابع چگالی احتمال خطای تشخیص ابهام زمانی الگوریتم JTCCE در سیستم با ۳۲ زیر حامل در SNR های متفاوت. ۷۸
شکل (۴-۱۴) تابع چگالی احتمال خطای تشخیص ابهام زمانی الگوریتم JTCCE در سیستم با ۶۴ زیر حامل در SNR های متفاوت. ۷۹
شکل(۴-۱۵) متوسط مجذور خطای تخمین CFO الگوریتم JCCE بر حسب تعداد تکرار مراحل EM. ۷۹
شکل(۴-۱۶) متوسط مجذور خطای تخمین CFO الگوریتم JCCE بر حسب SNR. ۸۰
شکل(۴-۱۷) متوسط مجذور خطای تخمین ضرایب کانال الگوریتم JCCE بر حسب SNR. ۸۱
شکل(۴-۱۸) متوسط مجذور خطای تخمین جابجایی فرکانس حامل الگوریتم های JCCE و JTCCE بر حسب تعداد زیر حامل های سیستم. ۸۱
شکل(۴-۱۹) متوسط مجذور خطای تخمین CIR در الگوریتم های JCCE و JTCCE بر حسب تعداد زیر حاملهای سیستم. ۸۲
شکل(۴-۲۰) حجم محاسبات الگوریتم های JCCE و JTCCE بر حسب تعداد زیر حامل های سیستم..... ۸۳

فهرست جدول‌ها

جدول (۲-۱) تاریخچه OFDM ۱۴
جدول (۲-۲) تحقیقات بعمل آمده در زمینه MIMO-OFDM ۲۴

فهرست اختصارات

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line

AWGN: Additive White Gaussian Noise

CA: Code Aided

CFO: Carrier Frequency Offset

CIR: Channel Impulse Response

CP: Cyclic prefix

CRB: Cramer-Rao Bound

DA: Data Aided

DAB: Digital Audio Broadcasting

DD: Decision Directed

DFT: Discrete Fourier Transform

DMT: Discrete Multi Tone

DS: Doppler Spread

DVB: Digital Video Broadcasting

ECISTR: European Cooperation in Scientific & Technical Research

EM: Expectation Maximization

EVD: Eigen Value Decomposition

FDM: Frequency Division Multiplexing

FFT: Fast Fourier Transform

FIM: Fisher Information Matrix

HDSL: High-bit-rate Digital Subscriber Line

ICI: Inter Carrier Interference

IDFT: Inverse Discrete Fourier Transform

IEEE:	International Electrical and Electronic Engineers
IFFT:	Inverse Fast Fourier Transform
ISI:	Inter Symbol Interference
JCCE:	Joint CFO and Channel Estimator
JTCCE:	Joint Time CFO and Channel Estimator
LF:	Likelihood Function
LO:	Local Oscillator
LOS:	Line Of Sight
LS:	Least Square
MIMO:	Multiple Input Multiple Output
ML:	Maximum Likelihood
MMSE:	Minimum Mean Square Error
MSE:	Mean Square Error
NDA:	Non Data Aided
OFDM:	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PA:	Pilot Aided
QPSK:	Quadrature Phase Shift Keying
Rx:	Receive antenna
SC:	Single Carrier
SISO:	Single Input Single Output
SUI:	Stanford University Interim
SVD:	Singular Value Decomposition
TS:	Training Sequence
WLAN:	Wireless Local Area Network
WMAN:	Wireless Metropolitan Area Networks

فصل اول

مقدمه

۱-۱- سیستم انتقال MIMO-OFDM

کانال‌های فیدینگ محیط مناسبی جهت ارسال اطلاعات با نرخ بالا نمی باشند. بدین جهت در سال‌های اخیر پیدا کردن روش‌هایی جهت افزایش نرخ ارسال اطلاعات یکی از بزرگترین دغدغه‌های طراحان سیستم‌های مخابراتی بی سیم بوده است.

تقسیم پهنای باند کانال به چندین زیر کانال با پاسخ فرکانسی هموار یکی از راه حل‌های مطرح شده جهت مقابله با رفتار غیرخطی کانال‌های فیدینگ است. سیستم‌های اولیه‌ای که از این ایده برای انتقال باند پهن در کانال‌های فیدینگ استفاده می‌کردند، پهنای‌باند در دسترس را با قراردادن یک فاصله فرکانسی محافظ بین زیر کانال‌ها جهت جلوگیری از تداخل بین کانالی به چندین زیر کانال تقسیم می‌کردند. این تکنیک که از انواع اولیه انتقال چند حامله است را مالتی پلکس با تقسیم فرکانس[۱] (FDM) می‌گویند.

هر چند FDM با تبدیل کانال فرکانس گزین به چندین کانال تخت، مقاومت خوبی در مقابل فیدینگ دارد، اما بازدهی طیفی پایینی دارد. بدین جهت پس از چندی مالتی پلکس با تقسیم فرکانس متعامد[۲] (OFDM) پیشنهاد شد. در OFDM زیر کانال‌ها بگونه ای کنار هم قرار می‌گیرند که علی‌رغم همپوشانی زیر کانال‌ها در حوزه فرکانس، گیرنده بدون هیچ نوع تداخل بین سمبلی[۳] (ISI) یا بین کانالی[۴] قادر به بازیابی اطلاعات باشد. در حال حاضر OFDM به عنوان یکی از برترین فن‌آوری-های مورد استفاده در استانداردهای مخابرات بی سیم شناخته شده است.

---

[1] Frequency Division Multiplexing (FDM)
[2] Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
[3] Inter Symbol Interference (ISI)
[4] Co-Channel Interference (CCI)

یکی دیگر از کاربردی‌ترین روش‌های دستیابی به نرخ ارسال بالا استفاده از چند آنتن برای ارسال و دریافت اطلاعات است. سیستم های چند-ورودی چند-خروجی[1] (MIMO) بدون آنکه پهنای‌باندکاری سیستم یا توان مورد نیاز جهت ارسال اطلاعات را افزایش دهند، نرخ انتقال اطلاعات را بالا می‌برند. تنها بهای پرداختی در قبال بهرمندی از مزایای سیستم‌های MIMO افزایش پیچیدگی‌های سخت افزاری و نرم افزاری است.

از آنجا که OFDM کانال‌های فیدینگ فرکانس گزین را به زیر کانال هایی با فیدینگ تخت تبدیل می‌کند استفاده از آن در سیستم‌های MIMO بسیار سودمند است. به همین دلیل هم‌اکنون تکنیک MIMO-OFDM به عنوان یکی از جدی‌ترین کاندیداهای مخابرات سیار نسل‌های آینده در دست تحقیق و بررسی است.

۱-۲- تخمین پارامترهای همزمان سازی و ضرایب کانال در سیستم‌های MIMO-OFDM

عملکرد صحیح سیستم‌های مخابراتی تنها در صورت همزمان بودن فرستنده و گیرنده در حوزه زمان و فرکانس قابل حصول است؛ بدین جهت بخشی از پردازش‌های نرم افزاری و سخت افزاری صورت گرفته در گیرنده‌های مخابراتی به فرآیند همزمان سازی[2] اختصاص دارد. از طرفی سیستم‌های مخابرات دیجیتال برای آشکارسازی همدوس سیگنال‌های دریافتی باید اطلاع دقیقی از وضعیت کانال مبادلاتی بین فرستنده و گیرنده داشته باشند؛ لذا در صورت استفاده از دمدولاتور های همدوس، تخمین کانال نیز امری ضروری و اجتناب ناپذیر است.

سیستم‌های چند حاملی آسیب‌پذیری بسیار بالایی در برابر خطاهای همزمان سازی و تخمین کانال دارند. این حساسیت و آسیب پذیری در سیستم های چند حاملی که از چند آنتن برای ارسال و دریافت اطلاعات استفاده می‌کنند، به نحو ملموسی افزایش می‌یابد به طوری که در اکثر مراجع و

[1] Multiple Input Multiple Output (MIMO)
[2] Synchronization

مقالات معتبر از همزمان سازی و تخمین ضرایب کانال به عنوان چالش برانگیز ترین موانع در مسیر طراحی، ساخت و پیاده سازی سیستم های MIMO-OFDM یاد شده است.

استفاده از رشته آموزشی یکی از متداول‌ترین روش‌های تخمین کانال و پارامترهای همزمان سازی در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم است. در این روش رشته آموزشی، در ابتدای بلوک ارسالی قرار می‌گیرد. در گیرنده تخمین با اطلاع از رشته آموزشی و با توجه به سیگنال دریافتی انجام می شود. هر چند استفاده از رشته آموزشی سبب کاهش گذردهی سیستم می شود، اما پیچیدگی کم و پیاده سازی آسان، آن را به پرکاربرد ترین روش تخمین تبدیل کرده است. در سال های اخیر برای پرهیز از کاهش بیشتر بازدهی طیفی تخمین توأم پارامترهای همزمان‌سازی و ضرایب کانال پیشنهاد شده است.

تخمین توأم جابجایی فرکانس حامل[1] (CFO) و ضرایب کانال بدین معنی است که از یک رشته آموزشی مشترک جهت تخمین همزمان پارامترهای همزمانی و ضرایب کانال استفاده گردد. با توجه به زیاد شدن تعداد مجهولات تخمین توأم پیچیدگی بیشتری از تخمین مجزای پارامترها دارد.

۱-۳- مطالب این پایان‌نامه

الگوریتم‌های بسیاری جهت تخمین توأم CFO و ضرایب کانال در سیستم‌های MIMO-OFDM ارائه شده‌اند. این الگوریتم‌ها جهت کاهش پیچیدگی عملیات تخمین علاوه بر فرض همزمانی دقیق در حوزه زمان، آفست (جابجایی) فرکانس حامل (CFO) را برای تمام آنتن‌های گیرنده یکسان در نظر می‌گیرند. با توجه به اینکه فرض‌های مذکور در واقعیت برقرار نیستند استفاده عملی از این الگوریتم ها غیر ممکن بنظر می رسد. در این پایان‌نامه الگوریتم جدیدی برای تخمین توأم CFO و ضرایب کانال با فرض وجود CFO مستقل در هر آنتن گیرنده ارائه خواهد شد.

[1] Carrier Frequency Offset (CFO)

در سیستم‌های مبتنی بر OFDM برای مقابله با تداخل بین سمبلی از یک پیشوند گردشی در ابتدای دنباله ارسالی استفاده می‌کنند. در گیرنده پس از همزمانی زمانی این پیشوند گردشی حذف می‌شود. با توجه به مکانیزم حذف پیشوند گردشی لحظه شروع سیگنال ورودی به بلوک FFT لحظه پایان پیشوند گردشی نیست و سیگنال ورودی به بلوک FFT همراه با ابهام می‌باشد. در نظر نگرفتن این ابهام زمانی در مدل سیستم به مراتب مشکل سازتر از فرض CFO مشترک است و عملکرد سیستم را به کلی مختل می‌کند.

در نوآوری دوم این پایان نامه دو الگوریتم جدید برای تخمین توأم CFO، ضرایب کانال و ابهام زمانی ارائه می شود. تفاوت این الگوریتم‌ها در نحوه مدل کردن ابهام زمانی است بطوری که در روش اول ابهام زمانی به صورت مستقیم وارد مدل شده است اما در روش دوم ابهام زمانی به عنوان تأخیر کانال در نظر گرفته شده‌است.

مطالب ارائه شده در این پایان‌نامه به این شکل تنظیم شده است. فصل دوم اختصاص به معرفی سیستم‌های MIMO-OFDM دارد. در فصل سوم موضوعات همزمان سازی و تخمین کانال در سیستم‌های چند حاملی بررسی می‌شود. در فصل چهارم پس از معرفی مدل‌های جدید سیستم‌های MIMO-OFDM الگوریتم‌های جدیدی برای تخمین توأم جابجایی فرکانس حامل و ضرایب کانال در سیستم‌های MIMO-OFDM پیشنهاد می‌شود. در ادامه کران‌های کرامر-رائو متناظر با تخمینگرهای پیشنهادی محاسبه می‌شود. سر انجام در فصل پنجم پس از جمع بندی مطالب مطرح شده و مرور نوآوری های انجام گرفته پیشنهادهایی برای ادامه تحقیقات ارائه خواهد شد.

فصل دوم

معرفی سیستم‌های MIMO-OFDM

۲-۱- مقدمه

کانال های فیدینگ محیط مناسبی جهت ارسال اطلاعات با نرخ بالا نمی باشند. بدین جهت در سال های اخیر پیدا کردن روش هایی جهت افزایش نرخ ارسال اطلاعات یکی از بزرگترین دغدغه های طراحان سیستم های مخابراتی بی سیم بوده است.

تقسیم پهنای باند کانال به چندین زیر کانال با پاسخ فرکانسی هموار یکی از راه حل های مطرح شده جهت مقابله با رفتار غیر خطی کانال های فیدینگ است. سیستم‌های اولیه‌ای که از این ایده استفاده می‌کردند مالتی پلکس با تقسیم فرکانسی (FDM) نامیده می‌شوند. این ایده به مرور تکمیل شده و منجر به سیستم های مالتی پلکس با تقسیم فرکانس متعامد (OFDM) گشت. در حال حاضر OFDM به عنوان یکی از غالب ترین تکنیک های مورد استفاده در استاندارد های مخابرات بی سیم مطرح است.

استفاده از سیستم های چند ورودی چند خروجی (MIMO) راه حل مناسبی برای افزایش نرخ اطلاعات ارسالی است. این روش این قابلیت را دارد که در صورت وجود کانال با میزان پراکندگی مناسب بازدهی طیفی[1] را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. سیستم MIMO بدون آنکه پهنای باند کاری سیستم یا توان ارسال را افزایش دهد، نرخ انتقال اطلاعات را بالا می برد. تنها بهایی که در قبال بهرمندی از این مزایا باید پرداخت شود افزایش پیچیدگی سیستم های مخابراتی است.

از آنجا که OFDM کانال‌های فیدینگ فرکانس گزین را به تعدادی زیر کانال با فیدینگ تخت تبدیل می کند استفاده از آن در سیستم های MIMO بسیار سودمند است. به همین دلیل هم اکنون

[1] Spectral Efficiency