دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

رساله دکتری مهندسی برق- الکترونیک

عنوان رساله

طراحی و آنالیز گیرنده حوزه فرکانس MB-OFDM بر مبنای پردازش زیرباند

نگارنده

بابک محمدیان

استاد راهنما

دکتر عبدالرضا نبوی

اردیبهشت ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای بابك محمدیان رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان **طراحی و آنالیز یك گیرنده حوزه فرکانس MB-OFDM برمبنای پردازش زیرباند** در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۲۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه دکتری الکترونیك پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر عبدالرضا نبوی لیشی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر احسان اله کبیر	استاد	
استاد ناظر	دکتر ابومسلم جان نثاری	استادیار	
استاد ناظر	دکتر امید هاشمی پور	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سید مجتبی عطاردی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر احسان اله کبیر	استاد	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تائید استاد راهنما

دانشکده مهندسی

دانشگاه تربیت مدرس
اداره پژوهش

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب بابک محمدیان دانشجوی رشته مهندسی برق - الکترونیک ورودی سال تحصیلی۸۴-۱۳۸۳ مقطع دکتری دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر متعهد می شوم کِلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:

تاریخ: ۱۳۹۱/۴/۱۲

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب بابک محمدیان دانشجوی رشته مهندسی برق - الکترونیک مقطع دکتری تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: بابک محمدیان

تاریخ و امضا: ۱۳۹۱/۴/۱۱

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه برای دریافت درجه دکتری

مهندسی برق- الکترونیک

طراحی و آنالیز گیرنده حوزه فرکانس MB-OFDM بر مبنای پردازش زیرباند

نگارنده

بابک محمدیان

استاد راهنما

دکتر عبدالرضا نبوی

اردیبهشت ۱۳۹۱

تقدیم به

«همسرم»

که در تلخ و شیرین زندگی همراهم بوده است.

تقدیر و تشکر

به رسم ادب و با فروتنی و احترام فراوان، از استاد راهنمای بزرگوارم، آقای دکتر عبدالرضا نبوی قدردانی می‌کنم. در طول چند سال انجام این پایان‌نامه و در مقاطع مختلف شرایطی به‌وجود آمد که اگر بزرگواری، اخلاق‌مداری و لطف ایشان نبود بنده این پایان‌نامه و تحصیل را رها کرده بودم. بی‌تردید در کنار دانش وسیع و تجربیات علمی ارزشمند ایشان، خلق نیکو و احترام به دانشجو از صفات بسیار بارز ایشان است که نگارنده در حدود پانزده سال زندگی دانشجویی در کمتر استادی یافته است. همچنین از دیگر اساتید دوره دکتری، به ویژه آقای دکتر کبیر سپاس‌گزاری می‌کنم. درک متقابل و ارتباط دوستانه ایشان با دانشجویان کم‌نظیر و آموختنی است. اگر زندگی دانشجویی دیگری داشتم آرزو داشتم که حداقل یک دوره دانشجوی ایشان باشم.

همچنین از بهترین یادگار دوره کارشناسی‌ام در دانشگاه شریف، دوست و همکلاسی‌ام، همسر مهربانم تشکر می‌کنم که در دهه گذشته صبوری کرد، صبوری کرد و صبوری کرد. در هنگام ازدواج هنوز درس‌هایی از دوره کارشناسی مانده بود و با پشتکارش (!) و تحمل شرایط سخت دانشجویی و تلاش و امید او، امروز دوره دکتری به پایان رسیده است. او که در مقاطع بسیاری به تنهایی بار زندگی‌مان را با وجود پسرمان به دوش کشید و شرایط ادامه تحصیل را برای بنده فراهم کرد.

سپس از خانواده عزیزم سپاس‌گزاری می‌کنم که به ایجاد شرایطی برای ادامه تحصیل بسیار کمک کردند. به ویژه از پدرم تشکر می‌کنم که در مقطعی که تصمیم به نیمه‌رها کردن دوره دکتری گرفتم، امر به ادامه تحصیل کردند که سخن ایشان همواره برای بنده فصل‌الخطاب بوده و خواهد بود. همچنین از پدر همسرم تشکر می‌کنم که بی‌تردید یکی از مهم‌ترین انگیزه‌های ادامه تحصیل قولی بود که ایشان پیش از ازدواج از بنده، وقتی دانشجوی سال آخر کارشناسی بودم، برای ادامه تحصیل تا مقطع دکتری گرفتند. علاقه ایشان به تحصیل علم و دانش ستودنی است. از دیگر اعضای خانواده‌ام، مادرم، مادر همسرم، برادرها و خواهرم، برادر و خواهر همسرم تشکر می‌کنم که همواره مشوق بنده بوده‌اند و در شرایط دشوار دانشجویی همواره در کنار بنده و همسرم بوده و از هیچ کمکی فروگذاری نکردند.

از دوستان دوره دکتری، آقایان دکتر پرویز امیری و دکتر حسین قرایی تشکر می‌کنم که کمک‌های علمی و غیر علمی فراوانی در دوره دانشجویی به بنده کردند و همواره به بنده لطف و محبت داشته‌اند. به ویژه از

دوست عزیزم، یار عزیز خاطرات زیبای دوره دکترا، آقای دکتر سید یحیی مرتضوی سپاس‌گزاری می‌کنم. حضور ایشان در زندگی دانشجویی بنده نعمتی بود وصف‌نشدنی و لطف‌های ایشان جبران‌ناپذیر. اگرچه در طول دوره دکتری عزیزان بسیاری به بنده کمک کردند اما هم‌فکری، امید، آرامش و پختگی ایشان برای اتمام دوره برای بنده بسیار مؤثر بود.

همچنین از دیگر دوستان در آزمایشگاه میکروالکترونیک دانشگاه تربیت مدرس تشکر می‌کنم و برای همه آن‌ها آروزی سلامتی و موفقیت می‌کنم.

چکیده

مدولاسیون OFDM[1] به عنوان تکنیکی بسیار قوی برای مخابرات با نرخ بالا شناخته شده است که مزایای بسیاری از جمله مقاومت در کانال‌های چند مسیره دارد. به نحوی که در کانال‌های چند مسیره و تار شونده، در صورت از بین رفتن بخشی از طیف فرکانسی سیگنال، تنها اطلاعات همان حامل‌ها از بین رفته و می‌توان بقیه اطلاعات را از سیگنال دریافتی استخراج کرد. در این راستا برای بهره‌گیری از پهنای باند وسیعی که UWB[2] در اختیار کاربران قرار می‌دهد، یکی از شاخه‌های مهم آن به این نوع مدولاسیون اختصاص داده شده که با نام MB-OFDM[3] شناخته شده است. با توجه به پهنای باند وسیع سیگنال MB-OFDM، استفاده از ADCهایی با نرخ بالا برای این سیستم‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

در این پایان‌نامه، ساختار جدیدی برای گیرنده سیستم‌های MB-OFDM ارائه شده است که بر مبنای خصوصیت امکان استخراج اطلاعات موجود در بخشی از طیف فرکانسی سیگنال OFDM بدون داشتن بخش‌های دیگر طیف کامل سیگنال است. بر مبنای این خصوصیت در گیرنده پیشنهادی، با تقسیم کردن طیف فرکانسی سیگنال OFDM به بخش‌های طیفی کوچک‌تر، می‌توان با استفاده از مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال با نرخ کمتر (نسبت به سیگنال اصلی) این بخش‌ها را به صورت دیجیتال درآورده و اطلاعات استخراج شده از بخشهای فرکانسی را با یکدیگر تلفیق کرد. لازم به ذکر است که ساختار پیشنهادی اهمیت خود را در سیستم‌های OFDM با باند وسیع نشان می‌دهد.

ابتدا ساختار ارائه شده در این پایان‌نامه با استفاده از مدل کامل فرستنده-گیرنده شبیه‌سازی شده و عملی بودن آن بررسی شده است. سپس با توجه به جدید بودن ساختار، نکات عملی خاص این ساختار از قبیل فیلترهای ورودی، اثر نویز فاز بر گیرنده جدید، همسان‌سازی زمانی و فرکانسی، جبران‌سازی کانال و دمدولاسیون OFDM مورد بررسی دقیق قرار گرفته و در نهایت دو بخش همسان‌سازی و جبران‌ساز کانال با توجه به تغییراتی که در آنها پدید آمده است بررسی شده و دو روش همسان‌سازی زمانی و یک روش

---

[1] Orthogonal Frequency Division Multiplexing
[2] Ultra Wide Band
[3] Multi-Band OFDM

همسان‌سازی فرکانسی به طور دقیق‌تر آنالیز و شبیه‌سازی شده است.

با توجه به حساسیت مدولاسیون OFDM نسبت نویز فاز، اثر نویز فاز بر روی گیرنده OFDM معمول به صورت تحلیلی بررسی شده و سپس با ارائه روابط تحلیلی برای اثر نویز فاز بر روی گیرنده پیشنهادی، مقایسه‌ای بین اثر نویز فاز بر روی گیرنده‌ها انجام شده است. در نهایت نشان داده شده است که اثر نویز فاز بر روی گیرنده پیشنهادی این تحقیق نسبت به گیرنده معمول OFDM تفاوتی ندارد.

همچنین برای به دست آوردن مدل‌های واقعی، کلیه مراحل شبیه‌سازی با در نظر گرفتن تعداد بیت‌های واقعی[1] نیز انجام شده و اثر تعداد بیت‌ها در بلوک‌های مختلف ارزیابی شده است.

با توجه به این‌که با استفاده از گیرنده‌ی پیشنهادی تغییراتی در بخش‌های ورودی سیگنال دیجیتال در گیرنده به وجود آمده است دو بلوک مهم در ورودی گیرنده یعنی همسان‌سازی زمانی و همسان‌سازی فرکانسی از لحاظ عملی مورد توجه قرار گرفته و نکات قابل توجه برای پیاده‌سازی آن‌ها از جمله پیچیدگی، ساده‌سازی طرح برای امکان پیاده‌سازی، تعداد ضرب‌کننده و منابع مورد نیاز، حداکثر فرکانس کاری و تعداد بیت‌های لازم مورد بررسی واقع شده است. همچنین پیاده‌سازی آن‌ها به صورت کد توصیف سخت‌افزار انجام شده و برای نمونه نتایج پیاده‌سازی بر روی یک FPGA[2] از شرکت Xilinx بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: گیرنده‌های پهن باند، مدولاسیون OFDM، FPGA، پردازش زیرباند، نویز فاز، همسان‌سازی زمانی، همسان‌سازی فرکانسی.

[1] Bit True
[2] Field Programmable Gate Array

فهرست عناوین

۱ مقدمه ۱

۱-۱ مخابرات سیار و جایگاه MB-OFDM ۱

۱-۲ انگیزه‌ها و دستاوردهای تحقیق ۷

۱-۳ ساختار پایان‌نامه ۸

۲ مروری بر گیرنده‌های MB-OFDM و مسائل مربوط به آنها ۱۰

۲-۱ مقدمه ۱۰

۲-۲ گیرنده‌های MB-OFDM و چالش‌های آنها ۱۰

۲-۲-۱ نرخ نمونه‌برداری ۱۲

۲-۲-۲ همسان‌سازی ۱۳

۲-۲-۳ نویز فاز ۱۴

۲-۲-۴ بالانس نبودن IQ ۱۴

۲-۲-۵ بالا بودن PAPR ۱۴

۲-۲-۶ پیش‌اعوجاج‌کننده ۱۵

۲-۲-۷ توان مصرفی کم و لزوم سادگی ۱۵

۲-۲-۸ اثرات پهنای باند بسیار زیاد ۱۶

۲-۲-۹ استفاده از پرش فرکانسی ۱۶

۲-۲-۱۰ طراحی Front End ۱۷

۲-۲-۱۱ بلوکهای پردازش دیجیتال ۱۷

۲-۳ کاهش سرعت ADCها و گیرنده‌های مبتنی بر حوزه فرکانس ۱۷

۲-۳-۱ نمونه‌برداری از سیگنال IR-UWB در حوزهٔ فرکانس ۱۸

۲-۳-۲ نمونه‌برداری حوزه فرکانس از سیگنال UWB-OFDM ۲۱
۲-۴ جمع‌بندی کارهای انجام شده ۲۷
۲-۴-۱ بخش front end در تکنولوژی BiCMOS ۲۷
۲-۴-۲ بخش front end یک فرستنده/گیرنده در تکنولوژی CMOS ۲۸
۲-۴-۳ طراحی دیگری برای front end در تکنولوژی CMOS ۳۰
۲-۴-۴ میکسر برای MB-OFDM ۳۱
۲-۴-۵ حذف تداخل در سیستمهای UWB ۳۲
۲-۴-۶ روش دیگری برای حذف تداخل ۳۳
۲-۴-۷ طراحی LNA برای MB-OFDM ۳۵
۲-۴-۸ پیاده‌سازی بخش دیجیتال MB-OFDM ۳۵
۲-۴-۹ طراحی‌های دیگر مرتبط با MB-OFDM ۳۶
۲-۴-۱۰ نتیجه‌گیری ۳۶
3 ساختار گیرنده Split Spectrum Processing ۳۸
۳-۱ مقدمه ۳۸
۳-۲ مدولاسیون OFDM ۳۸
3-3 ساختار MB-OFDM ۴۲
۳-۴ ساختار کلی گیرنده MB-OFDM پیشنهادی ۴۴
۳-۴-۱ تشریح طرح ۴۵
۳-۴-۲ فرآیند استخراج داده‌ها از دو نیمه طیف ۴۷
۴ تشریح مسائل مربوط به گیرنده SSP ۵۰
۴-۱ اثر PAPR و تعداد بیت‌ها در پردازش ۵۰
4-1-1 اثر بالا بودن PAPR در سیستم‌های OFDM ۵۰
۴-۱-۲ مدلسازی بیت‌های واقعی ۵۲
۴-۲ اثر تداخل‌های باند باریک بر طراحی LNA و اثر آن بر روی تعداد بیت‌های ADC ۵۵

۴-۳ اثر نویز فاز بر روی گیرنده پردازش زیرباند ۵۸
4-4 بررسی فیلترها ۶۶
۴-۴-۱ اثر فیلترهای ورودی ۶۶
۴-۴-۲ بررسی پیاده‌سازی به روش Gm-C ۷۵
۴-۵ همسان‌سازی زمانی ۷۹
۴-۵-۱ همسان‌سازی با استفاده از پیشوند گردشی ۸۱
۴-۵-۲ همسان‌سازی زمانی با استفاده از سمبل آغازین ۸۶
۴-۶ همسان‌سازی فرکانسی ۹۴
۴-۷ ملاحظات PAPR ۹۸
۴-۸ شبیه‌سازی‌های انجام شده برای یک سیستم کامل ۱۰۰
۴-۸-۱ بستر شبیه‌سازی‌ها ۱۰۰
۴-۸-۲ همسان‌سازی زمانی و فرکانسی ۱۰۲
۴-۸-۳ تخمین کانال ۱۰۲
۴-۸-۴ شبیه‌سازی BER بر حسب SNR ۱۰۲
5 پیاده‌سازی برخی از بلوک‌های گیرنده SSP ۱۰۴
۵-۱ پیاده‌سازی همسان‌سازی زمانی ۱۰۴
۵-۱-۱ بهبود الگوریتم همسان‌سازی برای پیاده‌سازی ۱۰۴
۵-۱-۲ کاهش ضرب‌کننده‌ها ۱۱۱
۵-۲ پیاده‌سازی همسان‌ساز فرکانسی ۱۱۳
۶ نتیجه‌گیری و کارهای آتی ۱۱۸
۶-۱ نتیجه‌گیری ۱۱۸
۶-۲ پیشنهادهایی برای ادامه کار ۱۲۰
مراجع ۱۲۱

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ استانداردهای مختلف ارتباطات بی‌سیم و سیار [۳] ۱
شکل ۱-۲ فرکانس استفاده شده در سیستمهای مختلف [۵] ۳
شکل ۱-۳ محدودیت FCC در مورد UWB برای توان ارسالی در فرکانسهای مختلف [۷] ۳
شکل ۱-۴ ماسک طیفی پیشنهادی اروپا برای UWB [۷] ۴
شکل ۱-۵ مجاورت UWB و سیستم‌های رادیویی دیگر ۴
شکل ۱-۶ مدولاسیون UWB DSSS یا DS-UWB (الف) یک سمبل از دیتای اصلی و (ب) دنبالهٔ گسترش‌دهنده و طیف آن ۵
شکل ۱-۷ باندهای MB-OFDM و گروه‌بندی آنها [۵] ۶
شکل ۱-۸ طرح FH بین باندهای مختلف در گروه اول [۵] ۶
شکل ۱-۹ مسیر داده در لایه فیزیکی سیستم MB-OFDM [۵] ۷
شکل ۲-۱ دیاگرام بلوکی فرستنده و گیرندهٔ OFDM در حالت کلی [۹] ۱۱
شکل ۲-۲ گیرنده معمول OFDM در حالت کلی ۱۲
شکل ۲-۳ (الف) نمونه‌برداری از طیف فرکانسی (ب) فیلتر استفاده شده در نمونه‌بردار حوزه فرکانس [۳۹] ..۱۹
شکل ۲-۴ نمونه‌بردار حوزه فرکانس [۳۹] ۲۰
شکل ۲-۵ سیگنال بازیابی شده در حوزه زمان [۳۹] ۲۰
شکل ۲-۶ ساختار کلی گیرنده IR-UWB بر اساس نمونه‌برداری در حوزه فرکانس [۳۹] ۲۱
شکل ۲-۷ استفاده از ساختار مشابه برای سیگنال MB-OFDM ۲۲
شکل ۲-۸ پیاده‌سازی گیرنده OFDM در محیط دیجیتال ۲۴
شکل ۲-۹ روش نمونه‌برداری از طیف فرکانسی سیگنال [۴۱] ۲۴
شکل ۲-۱۰ گسترش سیگنال با اعمال پنجره زمانی بر روی آن [۴۱] ۲۶
شکل ۲-۱۱ بلوک دیاگرام پیشنهادی [۱۴] برای گیرنده MB-OFDM ۲۸

شکل ۲-۱۲ گیرنده پیشنهادی برای MB-OFDM [۳۴] ۲۹
شکل ۲-۱۳ ساختار مورد استفاده برای گیرنده MB-ODM در حالت direct down-conversion [۳] ۳۰
شکل ۲-۱۴ ساختار دو مرحله‌ای بر اساس میکسر برای تولید فرکانس LOهای مورد نیاز [۳] ۳۱
شکل ۲-۱۵ گیرنده نمونه برای طراحی میکسر [۴۲] ۳۱
شکل ۲-۱۶ بخش front end آنالوگ برای یک گیرنده معمول [۴۳] ۳۲
شکل ۲-۱۷ گیرنده پیشنهادی با اضافه کردن ناچ فیلتر در مسیر سیگنال ورودی [۴۳] ۳۲
شکل ۲-۱۸ کد بلوکی باینری با بیت‌های F برای تعیین طیف فرکانسی [۴۵] ۳۳
شکل ۲-۱۹ دیاگرام بلوکی اعمال LABI در فرستنده [۴۵] ۳۳
شکل ۲-۲۰ اعمال روش LABI به سیگنال OFDM [۴۵] ۳۴
شکل ۲-۲۱ ایجاد ناچ در سیگنال OFDM از طریق صفر کردن حامل [۴۵] ۳۴
شکل ۲-۲۲ گیرنده و فرستنده مورد نظر برای طراحی LNA [۴۷] ۳۵
شکل ۲-۲۳ گیرنده MB-OFDM به تفکیک بخشهای باند پایه و RF [۴۸] ۳۵
شکل ۳-۱ ارسال اطلاعات با مدولاسیون OFDM ۳۹
شکل ۳-۲ ارسال موازی اطلاعات در مدولاسیون OFDM ۳۹
شکل ۳-۳ گذر یک سیگنال OFDM از یک کانال محوشوندهٔ چند مسیره [۵۱] ۴۰
شکل ۳-۴ سیگنال مدوله شده به همراه CP [۵۲] ۴۰
شکل ۳-۵ انکودر کانولوشنی با نرخ R=1/3 با چندجمله‌ای‌های g0 = 133(8)، g1=165(8) و g2=171(8) ۴۳
شکل ۳-۶ ساختار پیشنهادی برای گیرنده MB-OFDM ۴۵
شکل ۳-۷ ساختار پیشنهادی با دو نیمه از طیف فرکانسی ۴۶
شکل ۳-۸ به دست آوردن دو نیمهٔ طیف OFDM ۴۶
شکل ۴-۱ احتمال بزرگ‌تر بودن PAPR از یک مقدار ثابت P_0 برای K=128 زیر حامل و نگاشت QPSK [۵۵] ۵۱
شکل ۴-۲ نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده برای مشاهده اثر کاهش تعداد بیت‌ها و مقایسه آن با حالت ایده‌آل

۵۳.....

شکل ۴-۳ مدل استفاده شده برای شبیه‌سازی Bit True ۵۳

شکل ۴-۴ ساختار یک گیرنده MB-OFDM در تکنولوژی 0.25-um SiGe BiCMOS [۵۸] ۵۶

شکل ۴-۵ مدار تقویت‌کننده کم‌توان شامل فیلتر قطع فرکانس برای حذف تداخل‌های باند باریک [۵۸].....۵۷

شکل ۴-۶ مدل استفاده شده برای آنالیز نویز فاز ۵۹

شکل ۴-۷ اثر نویز فاز بر روی نقاط QPSK.....۶۲

شکل ۴-۸ اثر نویز فاز بر روی گیرنده معمول و گیرنده SSP.....۶۵

شکل ۴-۹ شبیه‌سازی گیرنده OFDM با در نظر گرفتن نویز فاز ۶۶

شکل ۴-۱۰ ساختار پیشنهادی برای گیرنده MB-OFDM.....۶۷

شکل ۴-۱۱ تبدیل سیستم حوزه گسسته و پیوسته ۶۸

شکل ۴-۱۲ مدل ساده شده سیستم مورد مطالعه ۶۹

شکل ۴-۱۳ پاسخ فرکانسی دامنه و فاز انواع فیلترها.....۷۲

شکل ۴-۱۴ نمودار constellation برای انواع فیلترها ۷۴

شکل ۴-۱۵ طیف فرکانسی سیگنال تحت تأثیر فیلتر پایین‌گذر ورودی ۷۵

شکل ۴-۱۶ شکل کلی یک فیلتر Gm-C درجه ۵ طراحی شده برای کاربرد MB-OFDM [59]....۷۶

شکل ۴-۱۷ ساختار هدایت انتقالی با پیش‌خورد مود مشترک و بازخورد مود مشترک [60].....۷۷

شکل ۴-۱۸ ساختار فیلتر نردبانی مرتبه پنج با قطب‌های حقیقی [60].....۷۷

شکل ۴-۱۹ فیلتر Gm-C تک سر با ضریب پیمایش k_i [60] ۷۸

شکل ۴-۲۰ استفاده از پیشوند گردشی برای همسان‌سازی زمانی.....۸۱

شکل ۴-۲۱خروجی متریک با استفاده از روش ML.....۸۳

شکل ۴-۲۲ معیار تعریف شده برای همسان‌سازی فرکانسی با استفاده از پیشوند گردشی ۸۴

شکل ۴-۲۳ به دست آوردن مقادیر قله در همسان‌سازی زمانی با پیشوند گردشی.....۸۴

شکل ۴-۲۴ تشریح الگوریتم مورد استفاده برای یافتن نقاط قله ۸۵

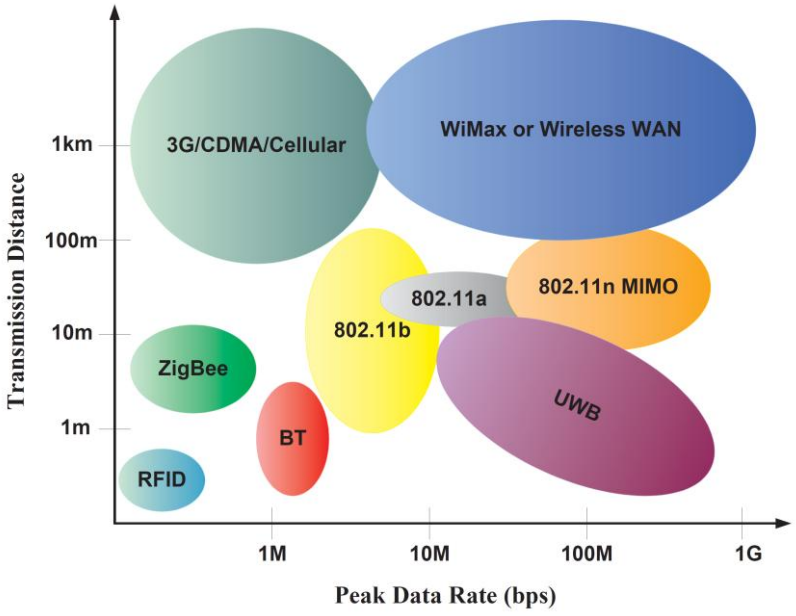
شکل ۴-۲۵ نمودار نرخ خطا در به دست آوردن ابتدای فریم OFDM ۸۵

شکل ۴-۲۶ اثر تعداد بیت‌ها در به‌دست آوردن شروع فریم ۸۶
شکل ۴-۲۷ معیار همسان‌سازی زمانی ۹۰
شکل ۴-۲۸ همسان‌سازی زمانی با پارامترهای MB-OFDM ۹۱
شکل ۴-۲۹. همسان‌سازی زمانی با متریک تعریف شده بر روی گیرنده معمول ۹۲
شکل ۴-۳۰ همسان‌سازی زمانی با متریک تعریف شده بر روی گیرنده SSP ۹۳
شکل ۴-۳۱ شبیه‌سازی با در نظر گرفتن ۴ بیت نمونه‌گیری در گیرنده ۹۴
شکل ۴-۳۲ اثر اختلاف فرکانسی با اختلاف فرکانسی نرمال شده (الف) 1%، (ب) 2%، (ج) 5% ۹۸
شکل ۴-۳۳ شکل زمانی خروجی سیگنال OFDM با ۱۲۸ زیرحامل و نگاشت QPSK ۹۹
شکل ۴-۳۴ چیدمان یک فریم از MB-OFDM ۱۰۱
شکل ۴-۳۵ نمودار نرخ خطای بیت بر حسب SNR با در نظر گرفتن الگوریتم تخمین کانال ۱۰۳
شکل ۵-۱ بخش‌های صورت و مخرج متریک همسان‌سازی ۱۰۶
شکل ۵-۲ مقایسه مقادیر $P(d)$ و $M(d)$ ۱۰۷
شکل ۵-۳ مقایسه مقادیر $P\mathrm{a}(d)$ و $M\mathrm{a}(d)$ ۱۰۸
شکل ۵-۴ نحوه محاسبات $P(d)$ ۱۰۹
شکل ۵-۵ نمودار به دست آمده از پیاده‌سازی سخت‌افزاری ۱۱۰
شکل ۵-۶ منابع مورد استفاده برای همسان‌سازی زمانی ۱۱۱
شکل ۵-۷ مقایسه دو روش استفاده از همه ضرایب و بخشی از آن‌ها ۱۱۲
شکل ۵-۸ منابع مورد استفاده برای همسان‌سازی زمانی در حالت ساده‌شده ۱۱۲
شکل ۵-۹ اثر تعداد بیت‌ها در خطای همسان‌سازی فرکانسی ۱۱۶
شکل ۵-۱۰ محاسبه میزان چرخش در یک سمبل ۱۱۷
شکل ۵-۱۱ خلاصه گزارش پیاده‌سازی بر روی FPGA ۱۱۷

۱ مقدمه

۱-۱ مخابرات سیار و جایگاه MB-OFDM

اواخر قرن بیستم و اوایل قرن بیست و یکم رشد چشم‌گیری در مخابرات بی‌سیم به وجود آمده است. در حالی که نسل سوم مخابرات سیار توسعه یافته، نسل چهارم با نرخ تبادل اطلاعات 100Mbps در حال رشد است و نسل پنجم با نرخ تبادل اطلاعات بیش از 1Gbps تا سال ۲۰۱۳ نهایی خواهد شد [۱, ۲]، استانداردهای دیگری نیز با نرخ متفاوت برای کاربردهایی متفاوت‌تر توسعه یافته و نیز در حال توسعه هستند. فاصله تحت پوشش در این سیستم‌ها از چند سانتی‌متر (RFID) تا بیش از صد کیلومتر (استاندارد WiMax با فرستنده-گیرنده‌هایی در محدوده فرکانسی 10-66GHz) و نرخ تبادل داده از 1.65Kbps (RFID tag) تا محدوده 1Gbps (برای سیستم‌های 5G) است (شکل ۱-۱). در این میان سیستم‌های UWB برای کاربردهای شبکه خانگی[1] در فواصل کوتاه به عنوان سیستم‌هایی ارزان، با توان مصرفی کم و نرخ بیت بالا پذیرفته شده است.



شکل ۱-۱ استانداردهای مختلف ارتباطات بی‌سیم و سیار [۳]

[1] WPAN: Wireless Personal Area Network

در سال ۲۰۰۲ میلادی کمیته FCC[1] آمریکا گزارشی ارائه کرد که در آن مجوز گسترش سیستم‌های رادیویی پهن‌باند[2] در محدوده‌های فرکانسی تخصیص داده نشده داده شد که در نتیجه پژوهش‌گران طراحی و توسعه سیستم‌های مورد نظر خود را در این باند آغاز کردند. طبق تعریف FCC، سیستم‌های فراپهن‌باند به هر سیستمی که پهنای باند کاری آن‌ها بزرگتر از ۲۰ درصد فرکانس مرکزی خود بوده و یا پهنای باند آن بیش از 500MHz باشد اطلاق می‌شود. علاوه بر این تعریف، FCC محدودیت‌هایی را نیز برای توان ارسالی این سیستم‌ها تعریف کرد که هدف اصلی آن قابلیت تطابق با سیستم‌های موجود است به صورتی که سیستم‌های فراپهن‌باند ساخته شده برای سیستم‌های موجود در این محدوده فرکانسی ایجاد اختلال نکند. بنابراین سیستم‌های UWB این امکان را داشتند که در مجاورت سیستم‌های رادیویی دیگر که در همین باند فرکانسی قرار دارند مانند 802.11a فعالیت کنند. به این منظور و در راستای رعایت مقررات FCC، محققان در طراحی‌های خود توجه خود را به محدوده فرکانسی 3.1-10.6GHz و با حداکثر توان -41.3dBm/MHz معطوف کردند.

بر اساس قانون شانون [۴] هر چه پهنای باند یک سیستم مخابراتی زیادتر باشد، انتظار می‌رود که تبادل اطلاعات در آن با نرخ بیشتری انجام شود:

$$C = W\log_2\left(1+\frac{S}{N}\right) \qquad \text{۱-۱}$$

در این رابطه C (bits/s) ظرفیت کانال، W(Hz) پهنای باند کانال و S و N به ترتیب توان سیگنال و توان نویز است. بر این اساس با توجه به عرض باند بسیار زیاد UWB، انتظار نرخ بیت زیاد (بیش از 400Mbps) از این سیستم‌ها وجود دارد.

در شکل ۱-۲ فرکانس کاری سیستم‌های مختلف رادیویی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در محدودهٔ کاری وسیع UWB که از حدود 3 GHz تا 10GHz است، شبکه‌های دیگری با عرض باند کم نیز وجود دارد.

[1] Federal Communications Commission
[2] UWB: Ultra Wide Band