بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق – مخابرات

بررسی عملکرد سیستم‌های رادیوشناختگر مبتنی بر NC-OFDM و تبدیل ویولت

دامون شهبازتبار

استاد راهنما:

دکتر حمید فرخی

استادان مشاور:

دکتر ناصر ندا

دکتر حسن فرسی

تابستان ۱۳۹۱

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان‌نامه)

یک نسخه اصل فرم مربوطه

تقدیم به مادر و پدرم:

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

تقدیم به برادر و خواهرم:

که پشتیبانی های آنها پیمودن راه را بر من آسان کرد

تشکر و قدردانی:

سپاس بیکران به درگاه ایزد منان که نیروی عقل و تفکر و همچنین شوق مکاشفه و کنکاش را در انسان قرار داد تا به کمک آن بتواند زمان و جهان را در حیطه ی خود قرار دهد.

لازم می بینم مراتب قدردانی و سپاس خود را از آن دسته عزیزانی که طی مراحل مختلف پژوهش و نگارش این رساله مرا یاری نموده اند ابراز نمایم:

از جناب آقای دکتر حمید فرخی استاد راهنمای محترم که با ارائه ی راهنمایی های ارزنده علمی و اخلاقی، رو شنگر این دوره از زندگی من بوده اند، کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای دکتر ناصر ندا و دکتر حسن فرسی، استادان مشاور که با ارائه ی نقطه نظرات سودمند سهم بسزایی در بهبود کیفی مطالب ایفا نمودند، کمال امتنان و سپاس را دارم.

بر خود لازم می دانم که از تمام اساتید ارجمند گروه مهندسی مخابرات دانشگاه بیرجند که تمام تلاش خود را صرف تعلیم و تربیت دانشجویان این رشته می نمایند، قدردانی کنم.

در پایان، از دوستان عزیزم، آقایان رضا رمضان زاده، رضا غنی زاده، احسان کریمی و محمد علی مرادپور که مرا از هر لحاظ در انجام هرچه بهتر این پایان نامه یاری و پشتیبانی نمودند، سپاسگزاری می نمایم.

دامون شهباز تبار

چکیده

با پدیدار شدن تکنولوژی‌های جدید مخابراتی و با افزایش تعداد سیستم‌های بی‌سیم، طیف رادیویی هر روز کمیاب می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که رنج وسیعی از طیف به صورت بهینه استفاده نمی‌شود. از این رو، در سال‌های اخیر شبکه‌های رادیو شناختگر با هدف استفاده‌ی بهینه ازطیف فرکانسی در زمان و مکان به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این شبکه‌ها طراحی تکنیک‌های لایه فیزیکی، به دلیل این‌که کاربر ثانویه از حفره‌های طیفی کاربر اولیه استفاده می‌کند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تسهیم تقسیم فرکانس متعامد غیرهمجوار، یعنی NC-OFDM یک روش بسیار مناسب، پیشنهاد شده برای این منظور است. یک مشکل سیستم‌های مبتنی بر NC-OFDM، مانند OFDM معمولی این است که به منظور حذف ISI و ICI نیازمند یک پیشوند چرخشی است. پیشوند چرخشی اطلاعات مفیدی حمل نمی‌کند و سبب هدر رفتن پهنای باند مفید می‌شود، همچنین در سیستم‌های رادیو شناختگر، از آنجا که کاربر ثانویه در مجاورت کاربر اولیه کار می‌کند سبب تداخل با کاربر اولیه می‌شود. بنابراین به دنبال استفاده از تبدیلاتی خواهیم بود که، منتج به حذف پیشوند چرخشی شود، برای این منظور تبدیل ویولت پیشنهاد شده است. ویولت تقریبا در تمام جنبه‌های مخابرات بی‌سیم شامل: فشرده‌سازی اطلاعات، کدینگ منبع و کانال، نویز زدایی از سیگنال و طراحی فرستنده و گیرنده‌ها به کار می‌رود. مهمترین کاربرد ویولت در مخابرات بی‌سیم، استفاده در مدولاسیون چند حامل است. در این رساله ابتدا عملکرد سیستم‌های OFDM مبتنی بر تبدیل فوریه و OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت شبیه‌سازی و مقایسه شده است. سپس عملکرد BER یک سیستم NC-OFDM با NC-MC-CDMA از دید افزایش تعداد زیرحامل‌های صفر شده شبیه‌سازی و مقایسه می‌گردد. در ادامه سیستم‌های NC-OFDM مبتنی بر تبدیلات ویولت متعامد به منظور استفاده در شبکه‌های رادیو شناختگر و برای دستیابی طیف دینامیک طراحی و شبیه‌سازی شده است.

کلید واژه‌ها: پیشوند چرخشی، تبدیل فوریه، تبدیل ویولت، رادیو شناختگر، OFDM، NC-OFDM.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ه
فهرست شکل‌ها ..... و

فصل ۱- مقدمه ۱
۱-۱- پیشگفتار ۱
۱-۲- انگیزه تحیق و اهداف تحقیق ۲
۱-۳- سازمان بندی پایان نامه ۳

فصل ۲- مفاهیم اساسی در رادیو شناختگر ۵
۲-۱- **مقدمه** ۵
۲-۲- محدودیت‌های موجود در طرح تخصیص طیف فعلی ۶
۲-۲-۱- نوعِ ثابتِ استفاده از طیف ۶
۲-۲-۲- مجوز برای یک منطقه بزرگ از نظر جغرافیایی ۶
۲-۲-۳- ممنوعیت دسترسی به طیف توسط کاربران ثانویه ۷
۲-۳- رادیو بر پایه نرم‌افزاری ۷
۲-۳-۱- کار کردن چندباند ۷
۲-۳-۲- پشتیبانی چند استاندارد ۸
۲-۳-۳- پشتیبانی چند سرویس ۸
۲-۳-۴- پشتیبانی چند کانال ۸
۲-۴- ویژگی‌های رادیو شناختگر و توانایی‌ها ۹
۲-۵- معماری رادیو شناختگر ۱۰
۲-۶- طرز کار رادیو شناختگر ۱۰
۲-۶-۱- حس کردن طیف ۱۰
۲-۶-۲- آنالیز طیف ۱۱
۲-۶-۳- دسترسی به طیف ۱۲
۲-۶-۴- قابلیت حرکت طیف ۱۲
۲-۷- دستیابی طیف دینامیک ۱۲
۲-۷-۱- استفاده مشترک ۱۲
۲-۷-۲- مدل استفاده تقسیم شده ۱۳
۲-۷-۳- مدل استفاده انحصاری ۱۳
۲-۸- تکنیک‌های دستیابی طیف دینامیک ۱۳
۲-۸-۱- بر اساس معماری شبکه ۱۳

۲-۸-۲- براساس رفتار تخصیص طیف ۱۶
۲-۸-۳- بر اساس تکنیک های دستیابی طیف ۱۶
۲-۹- دمای تداخل ۱۹
۲-۱۰- نتیجه‌گیری ۲۰
فصل ۳- اصول اساسی سیستم‌های OFDM ۲۱
۳-۱- مقدمه ۲۱
۳-۲- تاریخچه OFDM ۲۱
۳-۳- انتشار چند مسیره ۲۳
۳-۴- ساختار سیستم‌های تک حامل و چند حامل ۲۵
۳-۵- سیستم OFDM ۲۶
۳-۶- تولید حامل‌های فرعی با استفاده از نوسان‌ساز ۲۸
۳-۷- پیاده‌سازی بر اساس FFT ۳۰
۳-۸- زمان محافظ و پیشوند چرخشی ۳۱
۳-۹- پنجره کردن ۳۳
۳-۱۰- پردازش سیگنال OFDM ۳۴
۳-۱۱- نتیجه گیری ۳۵
فصل ۴- OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت ۳۶
۴-۱- مقدمه ۳۶
۴-۲- بررسی کارهای انجام شده ۳۷
۴-۳- تئوری تبدیل ویولت ۳۹
۴-۴- تبدیل ویولت پیوسته ۳۹
۴-۵- تبدیل ویولت گسسته ۴۲
۴-۶- بانک فیلتر ۴۳
۴-۷- بانک فیلتر آنالیز ۴۴
۴-۸- بانک فیلتر سنتز ۴۶
۴-۸-۱- ویژگی ارتونرمال بودن فیلترها ۴۶
۴-۸-۲- بانک فیلتر و ویژگی دوباره بازسازی کامل ۴۷
۴-۸-۳- کاربردهای بانک فیلتر در مخابرات دیجیتال ۴۸
۴-۹- ویولت و ویولت پکت ۴۹
۴-۱۰- ویولت‌های معروف ۵۰
۴-۱۱- انتخاب فیلتر ویولت برای OFDM ۵۱
۴-۱۲- مدولاسیون چند حامل مبتنی بر ویولت پکت ۵۳
۴-۱۳- دیاگرام بلوکی OFDM مبتنی برتبدیل ویولت ۵۶
۴-۱۴- نتیجه‌گیری ۵۷

فصل ۵- بررسی عملکرد تبدیل فوریه در مقابل تبدیل ویولت ۵۸
۵-۱- مقدمه ۵۸
۵-۲- مدل سیستم بر اساس تبدیل فوریه ۵۸
۵-۳- مدل پیاده سازی شده OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت ۵۹
۵-۴- مقادیر شبیه سازی ۶۰
۵-۵- نتایج شبیه سازی ۶۲
۵-۵-۱- بررسی عملکرد تبدیل ویولت Haar در مقایسه با تبدیل فویه در کانال AWGN ۶۲
۵-۵-۲- بررسی عملکرد تبدیل ویولت Daubechies در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال AWGN ۶۳
۵-۵-۳- بررسی عملکرد تبدیل ویولت Symlets در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال AWGN ۶۳
شکل ۵-۷: بررسی عملکرد تبدیل ویولت Symlets در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال AWGN ۶۳
۵-۵-۴- بررسی عملکرد تبدیل ویولت Coiflets در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال AWGN ۶۴
۵-۵-۵- بررسی عملکرد تبدیل ویولت Haar در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال رایلی ۶۴
۵-۵-۶- بررسی عملکرد تبدیل ویولت Daubechies در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال رایلی ۶۵
۵-۵-۷- بررسی عملکرد تبدیل ویولت Symlets در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال رایلی ۶۵
۵-۵-۸- بررسی عملکرد تبدیل ویولت Coiflets در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال رایلی ۶۶
۵-۵-۹- مقایسه نتایج در کانال AWGN ۶۶
۵-۵-۱۰- مقایسه نتایج در کانال رایلی ۶۷
۵-۶- تحلیل عملکرد سیستم ۶۷
۵-۷- نتیجه گیری ۶۸

فصل ۶- انتخاب مدولاسیون بهینه برای فرستنده و گیرنده‌های رادیو شناختگر ۶۹
۶-۱- مقدمه ۶۹
۶-۲- ارسال غیر همجوار ۶۹
۶-۳- مدل فرستنده و گیرنده رادیو شناختگر مبتنی بر NC-OFDM ۷۰
۶-۴- مدل فرستنده و گیرنده رادیو شناختگر مبتنی بر NC-MC-CDMA ۷۱
۶-۵- تحلیل نرخ سیگنال به نویز برای NC-OFDM ۷۳
۶-۵-۱- تحلیل تئوری نرخ سیگنال به نویز ۷۳
۶-۵-۲- تحلیل نرخ سیگنال به نویز در کانال AWGN ۷۳
۶-۵-۳- تحلیل نرخ سیگنال به نویز در کانال رایلی ۷۴
۶-۶- پارامترهای شبیه سازی ۷۴
۶-۷- نتیجه شبیه سازی NC-OFDM در مقایسه با NC-MC-CDMA ۷۵
۶-۸- تحلیل پیاده سازی سیستم ۷۶
۶-۹- NC-OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت ۷۶
۶-۱۰- مدل سیستم NC-OFDM بر اساس تبدیل ویولت ۷۷
۶-۱۱- پارامترهای شبیه سازی ۷۸
۶-۱۲- نتایج شبیه سازی ۷۸

۶-۱۲-۱- بررسی عملکرد NC-OFDM با تبدیل ویولت Haar ۷۸
۶-۱۲-۲- بررسی عملکرد NC-OFDM با تبدیل ویولت Daubechies ۷۹
۶-۱۲-۳- بررسی عملکرد NC-OFDM با تبدیل ویولت Symlet ۷۹
۶-۱۲-۴- بررسی عملکرد NC-OFDM با تبدیل ویولت Coiflet ۸۰
۶-۱۲-۵- بررسی افزایش طول فیلتر در NC-OFDM در خانواده ویولت Daubechies ۸۰
۶-۱۲-۶- بررسی افزایش طول فیلتر در NC-OFDM در خانواده ویولت Symlet ۸۱
۶-۱۲-۷- بررسی افزایش طول فیلتر در NC-OFDM در خانواده ویولت Coiflet ۸۱
۶-۱۳- تحلیل پیاده سازی سیستم ۸۲
۶-۱۴- نتیجه‌گیری ۸۲
فصل ۷- نتیجه گیری نهایی ۸۳
۷-۱- نتیجه گیری ۸۳
۷-۲- کارهای آتی ۸۳
فهرست مراجع ۸۵
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۸۹
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۹۲

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱: ویژگیهای ویولتهای استاندارد ۵۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: حفره طیفی یا فرصت طیفی. ۶
شکل ۲-۲: فرستنده و گیرنده SDR. ۸
شکل ۲-۳: پروتکل پشته رادیو شناختگر. ۱۰
شکل ۲-۴: دستیابی به روش متمرکز. ۱۴
شکل ۲-۵: دستیابی به روش توزیع شده. ۱۵
شکل ۲-۶: یک مثال از مشکل گره پنهان دراین شکل کاربر اصلی ازکاربر ثانویه۱ پنهان است. ۱۵
شکل ۲-۷: به اشتراک گذاشتن طیف به صورت Underlay. ۱۷
شکل ۲-۸: به اشتراک گذاشتن طیف به صورت Overlay. ۱۸
شکل ۲-۹: مدل دمای تداخل. ۱۹
شکل ۳-۱: انتشار چند مسیره. ۲۴
شکل ۳-۲: پاسخ ضربه کانال چند مسیره متغیر با زمان به پالس خیلی باریک در زمان‌های مختلف. ۲۵
شکل ۳-۳: سیگنال چند مسیره:الف) سیستم تک حامله، ب) سیستم چند حامله. ۲۶
شکل ۳-۴: پهنای باند مورد استفاده توسط تکنولوژی شبکه تلفن سوئیچینگ عمومی (PSTN). ۲۷
شکل ۳-۵: سیگنال OFDM، تکنیک مرسوم چند حامله و تکنیک مدولاسیون چند حامله متعامد. ۲۸
شکل ۳-۶: (الف) طیف یک کانال فرعی OFDM و (ب) یک سیگنال OFDM. ۲۸
شکل ۳-۷: مدولاتور OFDM. ۲۹
شکل ۳-۸: چهار حامل فرعی در یک سمبل OFDM. ۳۰
شکل ۳-۹: تاثیر چند مسیره بودن کانال بر روی زیر حامل‌ها. ۳۲
شکل ۳-۱۰: سمبل OFDM با پیشوند چرخشی. ۳۲
شکل ۳-۱۱: مثالی از یک سیگنال OFDM با سه حامل فرعی در یک کانال دو مسیره.. ۳۳
شکل ۳-۱۲: دیاگرام بلوکی یک فرستنده و گیرنده OFDM. ۳۵
شکل ۴-۱: ویولت Mexican Hat با مقیاسها و انتقالهای مختلف. ۴۰
شکل ۴-۲: (الف) اعمال پنجره با طول زمانی یکسان و فرکانس‌های مختلف در صفحه STFT. ۴۱
شکل ۴-۳: اعمال پنجره با مقیاس‌های مختلف در صفحه زمان-فرکانس در تبدیل ویولت. ۴۲
شکل ۴-۴: پاسخ فرکانسی فیلتر ویولت و مقیاس. ۴۴
شکل ۴-۵: بانک فیلتر آنالیز دو کاناله. ۴۴
شکل ۴-۶: درخت آنالیز سه طبقه. ۴۵
شکل ۴-۷: باندهای فرکانسی برای درخت آنالیز سه طبقه. ۴۵
شکل ۴-۸: بانک فیلتر سنتز ۲ کاناله. ۴۶
شکل ۴-۹: بانک فیلتر دو کاناله. ۴۸

شکل ۴-۱۰: کاربردهای بانک فیلتر در مخابرات بی‌سیم ۴۹
شکل ۴-۱۱: باندهای فرکانسی درخت ویولت پکت سه طبقه. ۵۰
شکل ۴-۱۲: پاسخ فرکانسی در تبدیل ویولت Haar ۵۲
شکل ۴-۱۳: پاسخ فرکانسی در تبدیل ویولت Daubechies ۵۲
شکل ۴-۱۴: پاسخ فرکانسی در تبدیل ویولت Symlets ۵۳
شکل ۴-۱۵: پاسخ فرکانسی در تبدیل ویولت Coiflets ۵۳
شکل ۴-۱۶: Wavelet Packets Transmultiplexer. ۵۴
شکل ۴-۱۷: طیف هشت حامل فرعی متعامد: الف) OFDM، ب) Daubechies 8 ..... ۵۵
شکل ۴-۱۸: دیاگرام بلوکی فرستنده و گیرنده OFDM مبتنی بر ویولت. ۵۶
شکل ۵-۱: (الف) فرستنده OFDM و (ب) گیرنده OFDM. ۵۹
شکل ۵-۲: (الف) فرستنده OFDM و (ب) گیرنده OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت. ۶۰
شکل ۵-۳: مدل کلارکس برای کانال فیدینگ تخت. ۶۱
شکل ۵-۴: مدل کانال فیدینگ دو مسیره. ۶۲
شکل ۵-۵: بررسی عملکرد تبدیل ویولت Haar در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال AWGN ۶۲
شکل ۵-۶: بررسی عملکرد تبدیل ویولت Daubechies در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال AWGN ۶۳
شکل ۵-۷: بررسی عملکرد تبدیل ویولت Symlets در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال AWGN. ۶۳
شکل ۵-۸: بررسی عملکرد تبدیل ویولت Coiflets در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال AWGN. ۶۴
شکل ۵-۹: بررسی عملکرد تبدیل ویولت Haar در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال رایلی. ۶۴
شکل ۵-۱۰: بررسی عملکرد تبدیل ویولت Daubechies در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال رایلی. ۶۵
شکل ۵-۱۱: بررسی عملکرد تبدیل ویولت Symlets در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال رایلی. ۶۵
شکل ۵-۱۲: بررسی عملکرد تبدیل ویولت Coiflets در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال رایلی. ۶۶
شکل ۵-۱۳: بررسی مقایسه‌ای نتایج نهایی، در خانواده‌های مختلف تبدیل ویولت، در کانال AWGN. ..۶۶
شکل ۵-۱۴: بررسی مقایسه‌ای نتایج نهایی، در خانواده‌های مختلف تبدیل ویولت، در کانال رایلی. ۶۷
شکل ۶-۱: طیف فرکانسی زیرحامل‌های NC-OFDM ۷۰
شکل ۶-۲: (الف) فرستنده رادیو شناختگر و (ب) گیرنده رادیو شناختگر ۷۱
شکل ۶-۳: (الف) فرستنده NC-MC-CDMA و (ب) گیرنده NC-MC-CDMA ۷۲
شکل ۶-۴: عملکرد BER سیستم مبتنی بر OFDM غیرهمجوار در کانال رایلی. ۷۵
شکل ۶-۵: عملکرد BER سیستم مبتنی بر MC-CDMA غیرهمجوار در کانال رایلی ۷۵
شکل ۶-۶: (الف) فرستنده و (ب) گیرنده NC-OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت ۷۷
شکل ۶-۷: عملکرد BER در NC-OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت Haar ۷۸
شکل ۶-۸: عملکرد BER در NC-OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت Daubechies ۷۹
شکل ۶-۹: عملکرد BER در NC-OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت Symlet ۷۹
شکل ۶-۱۰: عملکرد BER در NC-OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت Coiflet ۸۰
شکل ۶-۱۱: عملکرد افزایش طول فیلتر ویولت Daubechies. ۸۰

شکل ۶-۱۲: عملکرد افزایش طول فیلتر ویولت Symlet ۸۱
شکل ۶-۱۳: عملکرد افزایش طول فیلتر ویولت Coiflet ۸۱

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

در سال‌های اخیر، رشد بی‌سابقه ارتباطات سیار موجب شده است تا نیازمند مدیریت دقیق از منابع رادیویی باشیم، اساسا محدودیت‌ها و کمبود طیف فرکانسی رادیویی قابل دسترس، محدودیت‌های زیادی برای طراحی سیستم‌های رادیویی سلولار تحمیل می‌کند. فراهم نمودن سرویس‌های ارتباطی با ظرفیت بالا و کیفیت سرویس‌دهی QOS[1] خوب، نیازمند روش‌ها و راه‌کارهای قوی برای به اشتراک گذاشتن طیف رادیویی می‌باشد. در این میان سرویس‌های دولتی، که طیف فرکانسی را تخصیص می‌دهند، یک سری مقررات را به استفاده کنندگان از این طیف تحمیل می‌کنند، البته تخصیص طیف در تمامی کشورها توسط دولت مرکزی آن کشور انجام می‌گیرد و بنابراین از هر کشور به کشور دیگر متفاوت است. در حال حاضر تخصیص طیف برای هر سرویس جدید با ثابت شدن بلوک فرکانسی خودش همراه است و این در حالی است که بیشتر طیف تخصیص داده شده است و مشکلات زیادی به منظور فراهم کردن طیفی که بتوان برای سرویس‌های جدید یا توسعه ساختارهای موجود اختصاص داد، وجود دارد. در هر کشور یک مرکز به منظور کنترل و نظارت[2] تخصیص طیف نیز موجود می‌باشد که از دسترسی بدون مجوز به طیفی که قبلا در اختیار سرویس خاصی قرار گرفته است و در اصطلاح مجوزدار می‌باشد، جلوگیری می‌کند. این کار سبب می‌شود که، تداخل بر روی باندهای فرکانسی مالکان اصلی[3] یا کاربران اولیه طیف بوجود نیاید. به طور کلی کمبود منابع طیفی و رشد تقاضا سبب می‌گردد که ما تفکر بنیادی در مورد تخصیص طیف داشته باشیم و به دنبال استفاده بهینه از طیف باشیم. در سال‌های اخیر شبکه‌های رادیو شناختگر[4] با هدف استفاده بهینه از باند فرکانسی در زمان و مکان به طور گسترده مورد توجه قرار گرفته‌اند. مطالعات نشان می‌دهد بخش وسیعی از طیف به صورت بهینه استفاده نمی‌شود و طیفی که توسط مالکان اصلی طیف استفاده می‌شود در آن حفره‌های طیفی[5] وجود دارد. رادیو شناختگر یک راه حل بسیار مناسب به منظور ادغام طیفی[6]، بوسیله مطرح کردن استفاده مجدد از باندهای فرکانسی است، که بخش وسیعی از آن توسط سایر کاربران مجوزدار استفاده نشده باقی مانده است. همچنین رادیو شناختگر یک سیستم بی‌سیم هوشمند است که از محیط اطراف خود بوسیله حس کردن طیف[7] و اندازه‌گیری‌ها آگاه است، یک سیستم که از تجربه‌های سودمند خودش به منظور برنامه‌ریزی آینده استفاده می‌کند، همچنین به منظور تقویت کیفیت ارتباط، نیازهای کاربر خودش را تطبیق می‌دهد. از این رو رادیو شناختگر باید توانایی حس‌کردن و آگاهی از محیط عملیاتی و کاری خودش را داشته باشد

[1] Quality of Service
[2] Command and Control
[3] Primary Users
[4] Cognitive Radio
[5] Spectrum Holes
[6] Spectrum Sharing
[7] Spectrum Sensing

و به صورت دینامیکی پارامترهای کاری و رادیویی خودش را تطبیق دهد و تنظیم کند. به منظور دستیابی به این اهداف طراحی تکنیک‌های لایه فیزیکی که انعطاف‌پذیر و تطبیق‌پذیر[1] باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یک مورد خاص از ارسال چند حامله، تسهیم تقسیم فرکانس متعامد (OFDM[2]) است. OFDM یکی از پرکاربردترین تکنولوژی‌ها در سیستم‌های ارتباط بی‌سیم است که توانایی برآورده کردن نیازهای فوق را به طور ذاتی یا با اندکی تغییرات در ساختار معمول آن را دارد. مطالعات نشان می‌دهد که OFDM یک نقش بسیار مهم، در تحقق یافتن رادیو شناختگرها، بوسیله فراهم کردن یک تکنولوژی تطبیق‌پذیر ایفا خواهد کرد.

۱-۲- انگیزه تحیق و اهداف تحقیق

همان طور که گفتیم روش ارسال بر اساس OFDM یک انتخاب مناسب برای سیستم‌های ادغام طیف در محیط‌های دستیابی به طیف دینامیک[3] می‌باشد. اما این سوال پیش می‌آید که چرا OFDM بهترین انتخاب برای رادیو شناختگر است؟ اساسا امکان حس‌کردن طیف و همچنین توانایی شکل‌دهی طیف[4] به همراه انعطاف‌پذیری و تطبیق‌پذیری، OFDM را بهترین انتخاب و گزینه برای سیستم‌های رادیو شناختگر می‌سازد. در این‌جا چند نیاز رادیو شناختگرها را بیان می‌کنیم که OFDM می‌تواند این نیازها را پوشش دهد، برای مثال حس کردن طیف به منظور یافتن بخش‌های استفاده نشده از طیف، که توسط کاربران مالک طیف یا کاربران اولیه استفاده نمی‌شود، این امکان در OFDM در حوزه فرکانس با استفاده از تبدیل فوریه سریع (FFT[5]) فراهم می‌شود. یک نیاز دیگر، بهره‌برداری موثر از طیف می‌باشد، این امکان توسط OFDM بوسیله خاموش کردن بعضی از زیرحامل‌ها که کاربر اصلی در آن‌جا حضور دارد، می‌تواند امکان‌پذیر گردد. از طرف دیگر رادیو شناختگر نیازمند تطبیق‌پذیری و مقیاس‌پذیری[6] می‌باشند. سیستم‌های مبتنی بر OFDM می‌توانند در محیط‌های انتقال مختلف، تطبیق داده شوند و بعضی از پارامترها نیز شامل طول پیشوند چرخشی(CP[7])، مدولاسیون، کدینگ، توان زیرحامل می‌تواند بوسیله OFDM تطبیق‌پذیر گردد. یک نیاز دیگر رادیو شناختگر، محافظت در برابر تداخل باند باریک می‌باشد، از آنجا تداخل باند باریک تنها بعضی از زیرحامل‌ها را در سیستم‌های OFDM تحت تاثیر قرار می‌دهد، این زیرحامل‌ها می‌تواند به سادگی خاموش گردند. در این میان تمرکز اصلی ما بر روی طراحی بخش بهره‌برداری موثر از طیف و دستیابی طیف دینامیک می‌باشد، که نیاز داریم در اینجا سیستم مبتنی بر OFDM وجود داشته باشد که همه زیر باندهای آن به طور کامل فعال نباشد، این نوع OFDM در رادیو

[1] Adaptive
[2] Orthogonal Frequency Division Multiplexing
[3] Dynamic Spectrum Access
[4] Spectrum Shaping
[5] Fast Fourier Transform
[6] Scalability
[7] Cyclic Prefix

شناختگر، OFDM غیر همجوار[1] یا (NC-OFDM) گفته می‌شود. از آن جا که در رادیو شناختگر به دنبال استفاده بهینه از طیف می‌باشیم و از طرفی کاربران ثانویه در مجاورت کاربر اولیه کار می‌کنند، باید کاربران ثانویه برای کاربران اولیه ایجاد تداخل و مزاحمت نکنند، یکی از عواملی که در رادیو شناختگر سبب ایجاد تداخل با کاربران اولیه می‌شود، وجود CP در OFDM می‌باشد، از طرف دیگر CP اطلاعات مفیدی حمل نمی‌کند از این رو سبب کاهش بهره‌وری طیفی می‌شود. از این رو، محققان پیشنهاد کرده‌اند به منظور بهره‌وری طیفی در OFDM مرسوم از بانک فیلتر یا تبدیلاتی استفاده شود که CP حذف گردد، از طرفی برای OFDM رادیو شناختگر پیشنهاد شده است که CP انعطاف پذیر باشد، ما در این پایان نامه هر دوی این سیستم‌ها را بررسی می‌کنیم و برای NC-OFDM پیشنهاد شده است که به منظور حذف CP، به جای استفاده از CP انعطاف پذیر[2] از تبدیل ویولت[3] استفاده کنیم که سبب حذف CP در NC-OFDM می‌گردد و این موضوع، بوسیله شبیه‌سازی نشان داده شده است، با این زوش هم بهره‌وری طیفی NC-OFDM را بهینه می‌گردد و هم در رادیو شناختگر یکی از عوامل مهم در ایجاد تداخل، حذف می‌گردد، به طور کلی هدف از این رساله افزایش عملکرد و کارایی OFDM رادیو شناختگر می‌باشد.

۱-۳- سازمان بندی پایان نامه

در فصل دوم مفاهیم اصلی رادیو شناختگر معرفی و بررسی می‌شود. عناوینی از جمله توانایی و ویژگی‌های رادیو شناختگر، ساختار و معماری رادیو شناختگر[4]، مفاهیم دمای تداخل[5] و حس کردن طیف و همچنین روش‌های دستیابی طیف دینامیک و غیره به طور کامل شرح داده می‌شود. فصل سوم اختصاص به بررسی سیستم‌های چند حامل، OFDM و مشخصات کانال چند مسیره[6] دارد. در ادامه تکنیک‌های بهبود کارایی و پیاده‌سازی OFDM، مانند استفاده از تبدیل فوریه گسسته و استفاده از CP و مشکلات موجود برای پیاده‌سازی آن بحث می‌شود. در فصل چهارم به بررسی تئوری تبدیل ویولت و پیاده‌سازی گسسته آن با استفاده از بانک فیلتر[7] و مزایا و معایب آن می‌پردازیم. در فصل پنجم به شبیه‌سازی OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت و تبدیل فوریه در کانال AWGN و رایلی پرداخته می‌شود و نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی با یکدیگر مقایسه می‌شود. بررسی افزایش درجه فیلتر از دیگر مسائلی است که در ادامه این فصل شبیه‌سازی و تحلیل می‌گردد. در فصل ششم ابتدا ارسال غیر همجوار در سیستم‌های رادیو شناختگر بیان می‌شود سپس عملکرد NC-OFDM و NC-MC-CDMA شبیه‌سازی شده و با هم مقایسه می‌گردد، در ادامه یک تحلیل تئوری از نرخ سیگنال به نویز NC-OFDM، در کانال

[1] Non-Contiguous OFDM
[2] Adaptive
[3] Wavelet Transform
[4] Cognitive Radio Architecture
[5] Interference Temperature
[6] Multipath Channel
[7] Filter Bank

AWGN و رایلی بیان می‌گردد سپس عملکرد سیستم‌های NC-OFDM با استفاده از خانواده‌های متعامد تبدیل ویولت شبیه‌سازی می‌گردد و عملکرد افزایش درجه فیلتر این تبدیلات نیز در NC-OFDM مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. فصل هفتم نیز نتیجه‌گیری نهایی بیان می‌گردد.

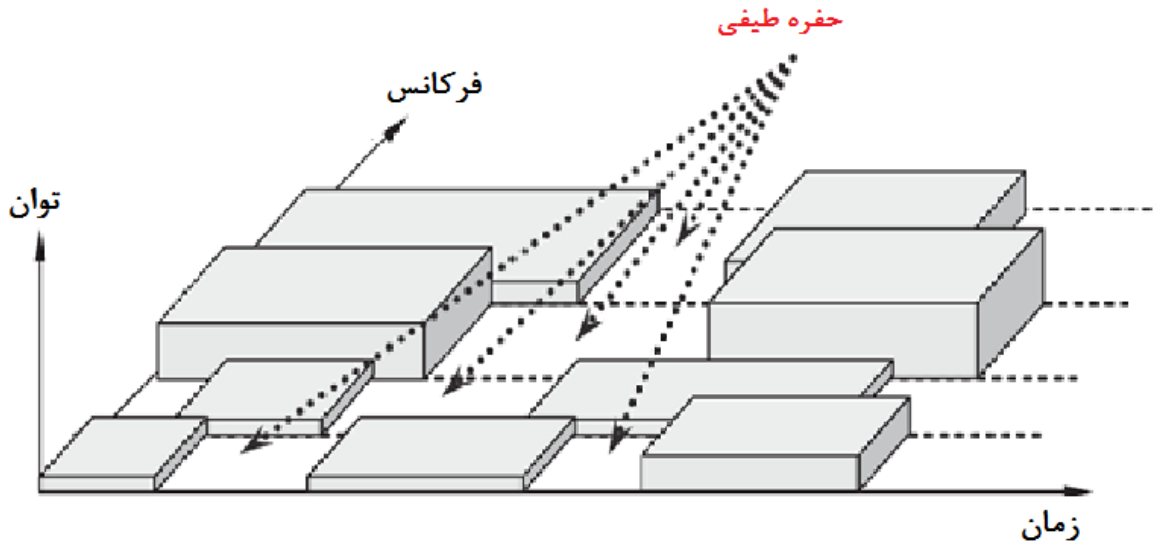
فصل ۲– مفاهیم اساسی در رادیو شناختگر

۲–۱– مقدمه

رادیو شناختگر یک الگوی جدید از سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم می‌باشد، که با هدف استفاده بهینه از طیف رادیویی پیشنهاد شده است. ایده اصلی پدیدار شدن رادیو شناختگر، حل مشکل کمبود منابع طیفی در دسترس و همچنین افزایش تقاضا برای بدست آوردن طیف فرکانسی، به‌دلیل بوجود آمدن کاربردهای جدید بی‌سیم برای کاربران می‌باشد. از آن‌جا که بیشتر طیف رادیویی در دسترس، به سیستم‌های بی‌سیم موجود اختصاص داده شده است و بخش‌های کوچک باقیمانده از طیف را نیز تنها می‌توان به توسعه‌ی ساختارهای مخابراتی موجود اختصاص داد، به همین دلیل مطالعاتی بوسیله کار گروه اداره مقررات طیف (SPTF[1]) زیر نظر کمیسیون ارتباطات و مخابرات فدرال (FCC[2]) انجام شد و نشان داد که بعضی از باندهای فرکانسی استفاده شده بوسیله مالکان آن، در مکان و زمان خاصی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند، در عین حال باندهای فرکانسی زیادی نیز موجود می‌باشد که تنها بخش‌هایی از آن اشغال شده است و بعضی از قسمت‌های باند، که بخش وسیعی نیز می‌باشد اشغال نشده باقی می‌ماند. به عنوان مثال باندهای طیفی تخصیص داده شده به شبکه‌های سلولار در ایالات متحده آمریکا در طول ساعات کاری بالاترین میزان استفاده را دارد، اما بخش‌های وسیعی از این باندهای فرکانسی از نیمه شب تا نزدیکی صبح اشغال نشده باقی می‌ماند. فاکتور اصلی که منجر به ناکارآمد بودن طیف فرکانسی شده است، طرح مجوزدار بودن طیف می‌باشد. در این شیوه تخصیص طیف، کاربران بدون مجوز (کاربران ثانویه)، حق استفاده از طیف کاربران مجوزدار (کاربران اولیه) را ندارند. به دلیل ثابت بودن و غیرانعطاف پذیر بودن تخصیص طیف، سیستم‌های بی‌سیم باید تنها بر روی یک باند فرکانسی اختصاصی خود عمل کنند و نمی‌توانند باند ارسال و دریافت را مطابقِ تغییرات محیط، تغییر دهند. به عنوان مثال، اگر یک باند طیفی به سنگینی مورد استفاده قرار بگیرد، سیستم بی‌سیم، نمی‌تواند بر روی باندی که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد برود و از آن استفاده کند. در طرح موجود مجوزدار بودن طیف، آن مجوز نمی‌تواند تغییر کند به عبارت دیگر نوع سرویس استفاده یا نوع ارسال به سایر مجوزها بر اساس آن مجوز نمی‌تواند متغیر باشد. نتیجه این محدودیت‌ها استفاده غیر بهینه از طیف می‌باشد. در طرح موجود، یعنی ثابت بودن بلوک فرکانسی، حفره‌های طیفی زیادی بوجود می‌آید.

حفره‌های طیفی باندهای فرکانسی می‌باشند که به کاربران اولیه تخصیص داده شده، اما در مکان‌ها و زمان‌هایی این کاربران از این باندها استفاده نمی‌کنند، بنابراین می‌توان آن‌ها را در اختیار کاربران ثانویه قرار داد . شکل ۲-۱ نشان دهنده حفره طیفی است.

[1] Spectrum Policy Task Force
[2] Federal Communications Commission



شکل ۲-۱: حفره طیفی یا فرصت طیفی.

۲-۲- محدودیت‌های موجود در طرح تخصیص طیف فعلی

به طور کلی چند محدودیت که طرح مجوز دار بودن طیف ایجاد کرده است و سبب استفاده غیر بهینه از طیف فرکانسی شده است، به طور خلاصه می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۲-۲-۱- نوعِ ثابتِ استفاده از طیف

در طرح موجود طیف مجوزدار، نوع استفاده از طیف نمی‌تواند متغیر باشد. برای مثال، یک باند تلویزیون (TV) که برای کمیسیون سیستم تلویزیون ملی (NTSN[1])، براساس تلویزیون آنالوگ تخصیص داده شده است، نمی‌توان برای پخش گسترده تلویزیون دیجیتال یا تکنولوژی دسترسی بی‌سیم پهن باند[2] استفاده کرد. هر چند که، بخش‌هایی وسیعی از همین باند تلویزیون، در خیلی از مکان‌ها به دلیل وجود سیستم‌های تلویزیون کابلی بدون استفاده و اشغال نشده باقی می‌ماند.

۲-۲-۲- مجوز برای یک منطقه بزرگ از نظر جغرافیایی

وقتی که مجوز یک طیف به یک شرکت یا سازمان و یا یک سرویس دهنده بی‌سیم، در یک ناحیه جغرافیایی وسیع، به عنوان مثال یک شهر یا یک ایالت تخصیص داده شد، این سازمان یا سرویس دهنده بی‌سیم، ممکن است به منظور به دست آوردن بالاترین میزان سود برای خود، طیف را فقط در نواحی که یک تعداد مشترک دارد مورد استفاده قرار دهد. در نتیجه، طیف فرکانسی تخصیص داده شده در خیلی از

[1] National Television System Committee
[2] Broadband Wireless Access Technology