مزایا و مشکلات استفاده از تکنیک OFDM در رادیو هوشمند

احسان صابری e.saberi@ec.iut.ac.ir

عادل آقاجان عبدا... a.aghajanabdollah@ec.iut.ac.ir

چکیده — **رادیو هوشمند[1] (CR) مفهومی جدیدی است که به سیستم های رادیویی قابلیت حس کردن محیط را می دهد وبا استفاده از اطلاعات بدست آمده می تواند با محیط اطراف خود تطابق یافته و با توجه به تجربه های قبلی کیفیت ارتباطات خود را بهبود ببخشد. اما لایه فیزیکی انعطاف پذیر برای انجام دادن موثر و کارآمد وظایف درخواست شده لازم دارد. از این رو OFDM به خاطر قابلیت های ذاتی خود می تواند در سیستم های CR به کار برده شود. در این مقاله ،سیستم های CR و تکنیک OFDM مورد بحث قرار می گیرد سپس مزایای استفاده از OFDM در سیستم های CR بررسی می شود و در نهایت چالش های به وجود آمده در این مسیر بیان می شود.**

کلمات کلیدی — **رادیو هوشمند(CR) ، تکنیک OFDM**

۱) مقدمه

الف) مدولاسیون تقسیم فرکانسی متعامد[2] (OFDM)

امروزه در بسیاری از استاندارد های مخابرات بی سیم که تلاش در ایجاد ارتباط با سرعت بالا دارند، استفاده از تکنیک OFDM جایگاه ویژه ای پیدا کرده است. ایده اصلی که در پشت این تکنولوژی قرار دارد این است که کل باند فرکانسی را به تعدادی زیر کانال تقسیم کنیم که در این زیر کانال ها مشخصه فرکانسی هموار باشد .

معادله زیر مدل ساده شده ای از یک سیستم OFDM را نشان می دهد.

$$x[n] = \frac{1}{N}\sum_{m=0}^{N-1} X_m e^{j\frac{2\pi nm}{N}}$$

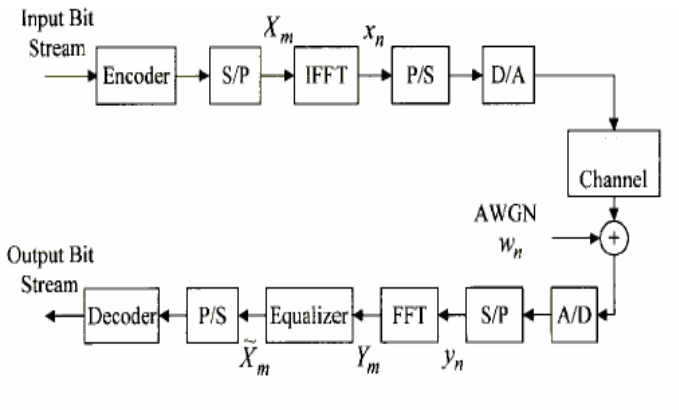
بنابراین سمبلهای OFDM با رابطه قابل توصیف می باشند که در آن X_mها، سمبل های باند پایه بر روی هر زیرحامل[3] هستند . مبدل آنالوگ به دیجیتال، یک سیگنال آنالوگ در حوزه زمان ایجاد می کند که از طریق کانال منتقل می شود .در گیرنده، نخست سیگنال به حالت گسسته باز گردانده می شود تا سیگنال y[n] حاصل شود؛ سپس این سیگنال از یک بلوک FFT گذرانده می شود تا دنباله Y_m به صورت زیر حاصل شود:

$$Y_m = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} y[n]e^{-j\frac{2\pi nm}{N}}$$

ساختار سیستم OFDM در شکل (۱) رسم شده است.

ب) رادیو هوشمند

پس از معرفی سیستمهای OFDM به منظور استفاده بهینه از پهنای باند سیستم CR معرفی می شود. در CR تخصیص پهنای باند به صورت دینامیکی انجام می شود. در این سیستم ها هدف فراهم کردن پهنای باند وسیع برای استفاده کنندگان می باشد.آنچه در این سیستم ها باعث بهبود در استفاده از پهنای باند می شود، استفاده از پهنای باند به صورت فرصت طلبانه می باشد. در عین حال در این سیستم ها سعی می شود که از ایجاد تداخل با استفاده کنندگان نسل قبلی جلو گیری شود. شیوه دسترسی به حوزه فرکانس به صورت دینامیکی این امکان را برای CR فراهم آورده است که بتواند به بهترین حوزه فرکانس موجود دسترسی پیدا کند.



شکل ۱- ساختار سیستم OFDM

[1] Cognitive Radio
[2] Orthogonal Frequency Division Multiplexing
[3] Subcarrier

به صورت دقیقتر CR استفاده کننده را قادر می سازد که : ۱) مشخص کند که چه بخشی از پهنای باند آزاد است و هنگامی که در بخش هایی از فرکانس که متعلق به استفاده کنندگان مجاز می باشد، فعالیت می کند بتواند حضور استفاده کنندگان مجاز را تشخیص دهد (Spectrum Sensing) . ۲) توانایی انتخاب بهترین کانال موجود (Spectrum Management) . ۳) هماهنگ کردن دسترسی به این کانال با سایر استفاده کنندگان (Spectrum Sharing). ٤) تخلیه کردن کانال در صورت ورود استفاده کنندگان مجاز (Spectrum Mobility).

بنابراین به طور خلاصه یک سیستم CR باید دو توانایی زیر باشد :

۱) **توانایی شناخت:** این ویژگی ناظر بر توانایی رادیو در بدست آوردن اطلاعات از محیط پیرامون خود می باشد. این توانایی با بررسی ساده توان در فرکانس های مختلف حاصل نمی شود بلکه به تکنیک های پیچیده ای برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی در محیط اطراف به منظور عدم تداخل با استفاده کنندگان مجاز نیازمند است. با استفاده از این ویژگی می توان بخش هایی از باند فرکانسی را که در زمان ها و مکان های مشخص به صورت استفاده نکرده وجود دارند را شناسایی کرد و به دنبال آن بهترین پهنای باند و پارامتر های متناظر را مشخص کرد.

۲) **توانایی در شکل دهی مجدد:** این ویژگی این توانایی را به رادیو می دهد که به صورت دینامیکی متناسب با تغییرات محیط اطراف برنامه ریزی شود و پارامتر های خود را تغییر دهد. به عبارت دیگر رادیو دارای توانایی برنامه ریزی شدن برای ارسال و دریافت در فرکانس های مختلف می باشد.

۲)چرا OFDM برای رادیو هوشمند مناسب است ؟

امکان شکل دهی طیف در OFDM ، بعلاوه انعطاف پذیری بسیار بالای این روش شاید OFDM را به عنوان بهترین تکنولوژی ارسال پیام برای سیستم های رادیو هوشمند معرفی کرده است.

در ادامه تعدادی از نیازمندیهابرای رادیو هوشمند را ارائه شده است و سپس توانایی OFDM برای برطرف کردن این نیازها بیان شده است.

الف) آگاهی یافتن از طیف[4]

یکی از مهمترین عناصر در مفهوم رادیو هوشمند توانایی آن برای اندازه گیری و حس کردن و آگاهی یافتن از شرایط عملیاتی محیط اطرافش است که این شامل پارامترهای مربوط به مشخصات کانال رادیویی ، فرکانس های در دسترس ، تداخل طیف پیش آمده و سیستم های CR دیگر است. بعلاوه سیستم CR باید آگاهی از نیازهای کاربران و تاسیسات ثابت شبکه وسیاست های محلی و دیگر محدودیت های عملیاتی داشته باشد.

مهمترین وظیفه یک سیستم CR این است که قسمتی از باند که قابل استفاده است را به سرعت وبا بهترین راه شناسایی کند واز آن استفاده نماید. در سیستمهای OFDM تبدیل از حوزه زمان به حوزه فرکانس با استفاده از FFT انجام می پذیرد.از این جهت همه نقاط در محور زمان - فرکانس از باند فعال می تواند بدون هیچ سخت افزاراضافه ای بررسی شود [۱]. می توان از خروجی بیش از یکFFT استفاده کرد. یعنی گیرنده در زمان های مختلفی از سیگنال ورودی FFT می گیرد و از متوسط خروجی FFT برای تصمیم گیری استفاده می کند. مسلما در این حالت با احتمال خطای کمتری تصمیم گیری می کنیم (که این مسئله به صورت دقیق در مرجع [۲] نشان داده شده است.) ولی متوسط گیری در زمان باعث افزایش تاخیر می شود.

روشی در مرجع [۳] ارائه شده است به این صورت که به جای FFT گرفتن از کل پهنای باند، به صورت بازه ای FFT بگیریم در این صورت سیگنال کاربر اولیه[5] (LU) معمولا در بیش از یک گروه از نمونه های خروجی FFT منتشر میشود زیرا از انتظار می رود که پهنای باند کاربر اولیه از پهنای باند تقسیم شده به وسیله FFT وسیعتر باشد. با استفاده از این واقعیت، با میانگین گرفتن خروجی های FFT نویز پالایش می شود تا بهترین عملکرد بدست آید.

ب) شکل دهی طیف[6]

به طور ایده ال ، برای کاربران هوشمند استفاده از باندهای دردسترس در طیف مجانی پسندیده و مطلوب است.برای آنها داشتن یک پوشش طیف انعطاف پذیر و کنترل بر پارامترهای شکل موج مثل پهنای باند سیگنال ،سطح توان و فرکانس میانی خوش آیند است. سیستم های OFDM به دلیل خاصیت منحصر به فرد سیگنالینگ خود می توانند این انعطاف پذیری را انجام دهند.

با به کار بردن تنظیم زیر حامل ها، سیگنال OFDM میتواند برای پوشش طیف مناسب ومورد نیاز شکل دهی طیف را وفق بدهد وشکل دهی را انجام بدهد.

فرض کنیم که پوشش طیف برای سیستم رادیو هوشمند شناخته شده باشد، در این صورت انتخاب زیر حامل های غیر فعال برای OFDM فرآیند

[4] Spectrum Sensing and Awareness

[5] Licensed User

[6] Spectrum Shaping

نسبتا ساده ای است. مثالی از حس کردن طیف و طرز عملکرد شکل دهی در سیستم هوشمند مبتنی بر OFDM در شکل (۲) نشان داده شده است.

ج) سازگاری با محیط[۷]

وفق دادن و قابلیت تطابق یکی از نیازمندیهای کلیدی برای رادیو هوشمند است. این نیازمندی به وسیله ملحق کردن اطلاعات گردآوری شده، با شناسایی امکانات و محدودیت های سیستم های جاری برطرف می شود.

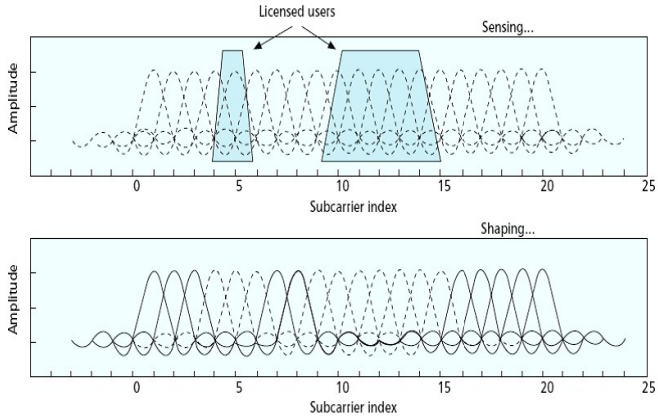
رادیو هوشمند توانایی بسیار بالایی در سازگاری با محیط اطراف خود را دارد که به طور مثال می توان موارد زیر را نام برد:

رادیو هوشمند می تواند شکل موج خودش را برای فعالیت با دیگر وسایل ارتباطی دلخواه ،تطابق دهد. همچنین کانال یا شبکه ارتباطی مناسب و را برای ارسال کردن اطلاعات انتخاب کند. و نیز می تواند بهترین فرکانس برای فرستادن در باند آزاد از طیف را به خود اختصاص دهد. و همچنین سیستم شکل موجود نیز می تواند محوشدگی کانال را جبران کند و هر سیگنال مزاحم را بی اثر کند.

OFDM انعطاف پذیری بسیار بالایی را پیشنهاد می کند بطوریکه رنج تعداد پارامترها برای تطابق و سازگاری کاملا وسیع هستند. یک سیستم مبتنی بر OFDM می تواند مرتبه مدولاسیون ، کد کردن ، توان فرستنده در هر زیر حامل را با توجه به نیاز کاربر یا شرایط کانال بصورت دینامیکی تغییر دهد[٤].

این تخصیص دینامیکی می تواند برای دست یافتن به هدفهای مختلفی مثل افزایش عملکرد سیستم، کاهش BER[۸] ،محدودیت تداخل برای کاربر اولیه ، طولانی کردن عمر باتری و ... باشد.

یکی از ویژگی های جذاب OFDM برای ارتباطات باند پهن ، نیاز به Equalizer های ساده برای آن است. اما برای حفظ این خصوصیت باید فاصله گذاری زیر حامل ها در هنگام تنظیم کمتر از پهنای باند همدوسی[۹] کانال باشد. بعلاوه برای اجتناب کردن از ISI ،سیستم یک پیشوند چرخشی[۱۰] (CP) به هر سمبل می افزاید که مدت آن از ماکزیمم انتشار تاخیر کانال بیشتر است.



شکل۲- طیف کاربرد اولیه با استفاده از خروجی FFT تشخیص داده شده است و زیر حامل هایی که می توانستند باعث تداخل با این کاربران اولیه شوند، خاموش شده اند. سپس فرستنده از قسمت خالی طیف برای فرستادن سیگنال استفاده می کند.

باتوجه به تخمین زدن پارامترهای کانال ، سیستم رادیو هوشمند مبتنی بر OFDM می تواند به صورت دینامیکی طول پیشوند چرخشی را برای حفظ سیگنال بدون ISI و داشتن ماکزیمم خروجی برای سیستم ، تغییر دهد. بطور مشابه ، یک سیستم OFDM می تواند به صورت دینامیکی فاصله زیرحامل های خود را برای کاهش ICI[۱۱] یا نسبت توان پیک به توان متوسط (PAPR)[۱۲] ، تغییر دهد[٥].

تطابق در سیستم های OFDM می تواند در سطح الگوریتم یا پارامتر اجرا شود. مثلا در سیستم های بی سیم کلاسیک تنها می توانستیم نرخ کدگذاری را برای بهینه سازی ارسال تنظیم کنیم. اما در سیستم های OFDM هوشمند می توانیم الگوریتم کدینگ را نیز بر حسب نوع کانال تغییر دهیم و عملکرد بهتری داشته باشیم.

د) دسترسی چندگانه و تخصیص طیف[۱۳]

منابع قابل دسترس برای سیستم هوشمند باید در بین کاربرها به اشتراک گذاشته شود. چندین تکنولوژی برای انجام این کار می تواند استفاده شود. OFDM مشهورترین تکنولوژی های دستیابی چندگانه مانند دستیابی چندگانه تقسیم زمان[۱٤] (TDMA) و دستیابی چندگانه تقسیم فرکانس (FDMA)[۱٥] را پشتیبانی می کند.علاوه بر این CDMA[۱٦] می تواند به همراه OFDM به کار برده شود.

[7] Adapting to the Environment
[8] Bit Error Rate
[9] Coherence Bandwidth
[10] Cyclic Prefix

[11] Intercarrier Interference
[12] Peak-to-Average-Power Ratio
[13] Multiple Accessing and Spectral Allocation
[14] Time-Division Multiple Access
[15] Frequency-Division Multiple Accessing
[16] Code Division Multiple Access

OFDMA[17]یک نمونه ویژه از FDMA می باشد که به تازگی مورد توجه قرار گرفته است و کاربردهای زیادی از جمله در WiMAX دارد. در OFDMA زیر حامل ها در دسته هایی گروه بندی شده اند که هر کدام به کاربرهای مختلفی اختصاص یافته اند. زیر حاملها می توانند بصورت تصادفی یا به صورت چندتایی در کنار یکدیگر استفاده شوند.از اینرو OFDMA بدون افزودن سخت افزار پیچیده ای دستیابی چندگانه و قابلیت اختصاص طیف بسیارمنعطفی را برای رادیو هوشمندی پیشنهاد و فراهم می کند. تخصیص زیر حامل ها می تواند برطبق طیف قابل دسترس تنظیم شده باشد.

ه) قابلیت همکاری[18]

قابلیت همکاری قسمتهای مختلف به معنی توانایی دو یا چند سیستم برای انتقال و مبادله اطلاعات با یکدیگر و استفاده از اطلاعات منتقل شده است.

سیستم های هوشمند شاید نیازدارند که نسبت به کاربر اولیه به خوبی سیستم های هوشمند دیگر شناخت داشته باشند، توانایی برای تشخیص و رمز گشایی سیگنال کاربران اولیه موجود می تواند موجب بهبود عملکرد سیستم های هوشمند شود. برای بدست آوردن قابلیت های همکاری بین دستگاه ها، OFDM یکی از بهترین کاندیداهای سیگنالینگ است. سیگنالینگ OFDM با موفقیت کامل در تکنولوژی های بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است که می توان به موارد زیر اشاره کرد.

- IEEE 802.11a
- IEEE 802.11g
- Wireless Local Area Network (LAN) Standards
- Digital Audio Broadcasting (DAB)
- Digital Video Broadcasting (DVB)
- WiMAX

از اینرو سیستم رادیو هوشمند که از OFDM بهره می برد ، می تواند با دیگر سیستم های مبتنی با OFDM به سهولت ارتباط برقرار کند. اگرچه برای اینکه این کار با موفقیت همراه باشد، سیستم باید همه استانداردها را بشناسد ، نیازهای مربوط به رمزگشایی سیگنال مثل داده و نقشه راهنما برای زیرحامل های فرکانسی ، ساختار فریم و نوع کد و نسبت را بشناسد.

۳) چالش های موجود در راه پیشرفت رادیو های هوشمند مبتنی بر OFDM

در راه پیشرفت سیستم های OFDM چالش های زیادی وجود دارد اما وقتی از رادیو های هوشمند مبتنی بر OFDM صحبت می کنیم بعضی از مشکلات پیش آمده در سیستم های OFDM بسیار تعیین کننده هستند. در ادامه سعی می شود مهمترین چالش ها در این زمینه بیا شود.

الف) Multiband OFDM

تا به حال از سیستم هایی صحبت شده است که تنها از یک سیگنال OFDM استفاده می کنند. اما اگر پهنای باند وسیع باشد آنگاه مدارهای RF برای ارسال و دریافت اطلاعات بسیار پیچیده می شوند و احتیاج به مبدل های آنالوگ به دیجیتال بسیار سریع پیدا می کنیم و همچنین این مبدل ها باید در فرکانس بسیار بالا بتوانند کار کنند وپهنای باند وسیع Equalizer ها را نیز پیچیده می کند. بنابراین به جای استفاده از یک سیگنال OFDM از چند سیگنال OFDM استفاده می کنیم. یعنی کل پهنای باند را به چند قسمت تقسیم می کنیم. به این کار Multi-band OFDM گویند. ساختار کلی Multi-band OFDM در شکل(۳) رسم شده است.

همانطور که گفته شد Multi-band OFDM کل پهنای باند را به چند قسمت تقسیم می کند بنابراین یک سیگنال مشخص می تواند چندین بار در طیف فرکانسی مختلف تکرار شود. در این صورت از نظر احتمال صحت عملکر بهتری خواهیم داشت ولی ریت ارسال اطلاعات کم می شود. تکرار یک سیگنال OFDM توسط قسمت FDS[19] و TDS[20] صورت می پذیرد. FDS هر سمبل OFDM را در چند زیرحامل تکرار می کند و TDS کل سمبل های OFDM را در چند دوره زمانی تکرار می کند. در شکل(۳) قسمت های Channel Coder و Interleaver، که در همه سیستم های مخابرات بی سیم وجود دارند، برای مقابله با خطا و محو شدگی در کانال تعبیه شده اند. مدولاتور و OFDM Symbol Framing و IFFT نیز مشابه با Single-band OFDM عمل می کنند.

حال این سوال پیش می آید که در OFDM-base CR چه موقع از Multi-band OFDM و چه موقع از Single-band OFDM باید استفاده کرد. همانطور که گفته شد وقتی پهنای باند وسیع باشد آنگاه در

[17] Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
[18] Interoperability

[19] Frequency-domain spreading
[20] Time-domain spreading

شکل۳- ساختارسیستم Multi-band OFDM

Single-band OFDM مدارهای RF بسیار پیچیده و بزرگ و گران می شوند. پس اگر بتوانیم هزینه های Single-band OFDM را بپردازیم Single-band OFDM بهتر است زیرا ریت ارسال اطلاعات بیشتری دارد. ولی اگر پهنای باند کم باشد انگاه Multi-band OFDM مقرون به صرفه نیست زیرا ریت ارسال اطلاعات را کم می کند.

اما مشکلاتی در راه Multi-band OFDM وجود دارند که برخی از آنها عبارتند از :

۱) روش های سنکرونازیسیون هایی که بتواند در رنج وسیع طیفی کار کنند.
۲) ساخت مدار هایی که بتواند در فرکاس های بالا کار کند.
۳) حصول تطابق بهره در LNA بدون از دست دادن تطابق ورودی

در مرجع [۶] با طراحی فرستنده و گیرنده UWB که مبتنی بر Multi-band OFDM است به طور کامل مشکلات مدارهایی که برای پیاده سازی Multi-band OFDM استفاده می شوند تشریح می شود.

ب) مکان یابی

یکی از جنبه های بسیار مهم CR، آگاهی یک سیستم CR از مکانی است که در آن کار می کند. کاربرد های استفاده از اطلاعات مکانی را می توان به چهار دسته زیر تقسیم کرد:

۱) سرویس هایی که با استفاده از اطلاعات مکانی بدست می آید
۲) کمک کردن به رفتار بهینه در شبکه
۳) کمک کردن به رفتار بهینه در الگوریتم های فرستنده و گیرنده
۴) کمک کردن به اطلاع یافتن از محیط اطراف خود

برای مورد اول می توان مشاهده ترافیک شبکه به صورت Real-Time را ذکر کرد. برای مورد دوم تخصیص دینامیکی طیف را نام می بریم. برای مورد سوم انتخاب بهترین لینک ارتباطی را نام می بریم و برای مورد آخر شناسایی کانال و در نتیجه سازگاری با شرایط کانال برای داشتن بهترین عملکرد را ذکر می کنیم.

اما همانطور که می دانیم هر سیستم OFDM نیاز به سنکرونازیسیون بسیار دقیقی دارد. می توان با استفاده از این سنکرونازیسیون به مکان یابی فرستنده و گیرنده CR نیز دست یافت که این روش در مرجع [۷] توضیح داده شده است. بنابراین سنکرونازیسیون دقیقتر برای OFDM باعث مکان یابی دقیق تر برای CR می شود.

ج) سیگنالینگ مربوط به انتقال پارامترها

همان‌طور که می‌دانیم یک سیستم CR از محیط اطراف خود اطلاعاتی می گیرد و با استفاده از این اطلاعات می‌تواند پارامترهایی را تغییر دهد تا بتواند عملکرد بهتری در مبادله اطلاعات داشته‌باشد.

مهم‌ترین اطلاعاتی که یک سیستم CR باید داشته‌باشد، اطلاع از فرکانس‌هایی است که توسط LU مشغول شده‌است.

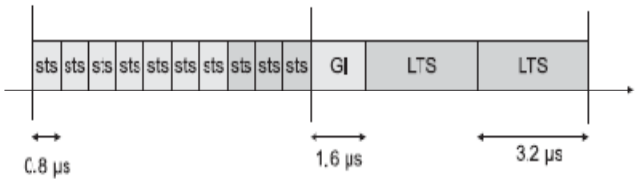
اگر یک سیستم CR بتواند با سیستم CR دیگر ارتباط برقرار کند و از اطلاعات آنها نیز استفاده کند، مطمئناً در شناسایی LU دچار خطای کمتری می‌شود. اما هر ارتباط نیاز به کانال دارد. این کانال می‌تواند یک کانال اختصاص یافته برای CR ها باشد (یعنی CR ها برای این کانال LU باشند) و با استفاده از این کانال CR ها اطلاعاتی که از محیط اطراف خود دریافت کرده‌اند را با یکدیگر مبادله می‌کنند. اما اگر تعداد CR زیاد باشد، در نتیجه مقدار زیادی اطلاعات باید فرستاده شود و در نتیجه یا زمان زیادی احتیاج داریم ویا پهنای باند زیادی احتیاج داریم. اما می‌توان به‌جای استفاده از کانال‌های اختصاص یافته برای CR ها، از کانال اجاره‌ای استفاده کرد و این کار را با OFDM انجام می‌دهیم به این صورت که به جای ارسال اطلاعاتی که دریافت کرده‌ایم، برداری را ارسال می‌کنیم که شامل زیرحامل هایی است که استفاده نشده است. اگر هر سمبل OFDM تنها شامل یک بیت نباشد و یک بلوک K بایتی باشد، می‌توانیم هر عضو بردار گفته شده را در هر بیت

بلوک متناظربا خود قرار دهیم که در این صورت عملکرد بهتری خواهیم داشت. این روش در مرجع [۸] توضیح داده شده‌است.

روش اخیر یک اشکال اساسی دارد و آن تداخل احتمالی سیگنال LU و UU[۲۱] است زیرا سیستم‌های CR با یکدیگر اطلاعاتشان را مبادله می‌کنند تا خطای کمتری داشته‌باشند. بنابراین وقتی یک سیستم CR فرکانس‌هایی را که توسط LU اشغال شده‌است را شناسایی می‌کند، ممکن است دچار خطا شود و زیرحامل که اشغال شده‌است را خالی فرض کند. بنابر این در این زیرحامل سیگنالی می‌فرستد که ممکن است با سیگنال LU تداخل پیدا کند. بنابراین از روش Tone-Boosting استفاده می‌کنیم[۹]. در این روش تداخل سیگنال LU و UU به صورت آگاهانه است به این ترتیب که همه سیستم‌های CR به صورت هم‌زمان با بیشترین توان خود برداری شامل زیرحامل هایی که به تازگی توسط LU ها اشغال شده‌است را درست کرده و مدوله می‌کنند. اگر همه سیستم‌های CR به طور هم‌زمان عمل کنند، آنگاه سیگنال CR سیستم‌ها و سیگنال LU با هم جمع شده و سیگنال قوی‌ای را درست می‌کنند. بنابراین احتمال شناسایی این زیرحامل اشغال شده، بسیار بالا می‌رود و احتمال خطا بسیار کم می‌شود. در مرجع [۱۰] نشان داده شده‌است که اگر طول زمان سیگنالی که CR ها می‌فرستند تنها ۱۰μ s باشد، این عمل به خوبی انجام می‌شود. بنابراین سیگنالی با این طول مدت زمانی برای LU ای که تازه شروع به کار کرده‌است، نمی‌تواند مشکل‌ساز باشد.

د) سنکرونازیسیون

همان‌طور که گفته شد، سنکرونازیسیون یکی از مسائل بسیار مهم در OFDM است. اما وقتی بخواهیم در CR از OFDM استفاده کنیم، این مسئله بسیار مهم‌تر و پیچیده‌تر می‌شود و روش سنکرونازیسیون هایی که برای حالت عادی کافی بوده‌اند، در این حالت نمی‌توانند به خوبی عمل کنند. یکی از مشکلاتی که پیش می‌آید، خراب شدن Preamble است که این مسئله به‌دلیل رخداد پدیده NBI[۲۲] می‌دهد. در شکل(۴) ساختار Preamble برای IEEE802.11.a ترسیم شده‌است [۱۱]. این ساختار از ۱۰ عدد سمبل‌های آموزش کوچک[۲۳] (sts) و دو عدد سمبل‌های آموزش بزرگ[۲۴] (LTS) تشکیل شده‌است و این دو قسمت توسط Guard Internal از یکدیگر جدا شده‌اند. ۷ عدد sts برای مشخص کردن وجود سیگنال و کنترل بهره



شکل۴- ساختار Preamble

اتوماتیک و آشکارسازی فرکانس کاربر استفاده می‌شود و ۳ تای دیگر برای تخمین فرکانس و آفست کلاک استفاده می‌شود. بنابراین خراب شدن این بیت‌ها سنکرونازیسیون را را دچار اشکال می‌کند و به علاوه Preamble می‌تواند در زیرحامل های غیرقابل استفاده قرار بگیرد که باز باعث از دست رفتن Preamble می‌شود. یکی دیگر از مسائلی که در CR اهمیت سنکرونازیسیون را بیشتر می‌کند، حالت Multiple Access است. در این حالت اگر بخواهد سیگنال فرستنده‌ها بر یکدیگر عمود باشند و با یکدیگر تداخل نداشته باشند، باید فرستنده‌ها با گیرنده به طور دقیق سنکرون باشند. در مرجع [۱۱] نشان داده شده‌است که در سیستم‌های OFDM-Base CR باید طول Preamble بیشتر باشد و هم‌چنین یک ساختار جدید را برای عملکرد بهتر پیشنهاد می‌کند.

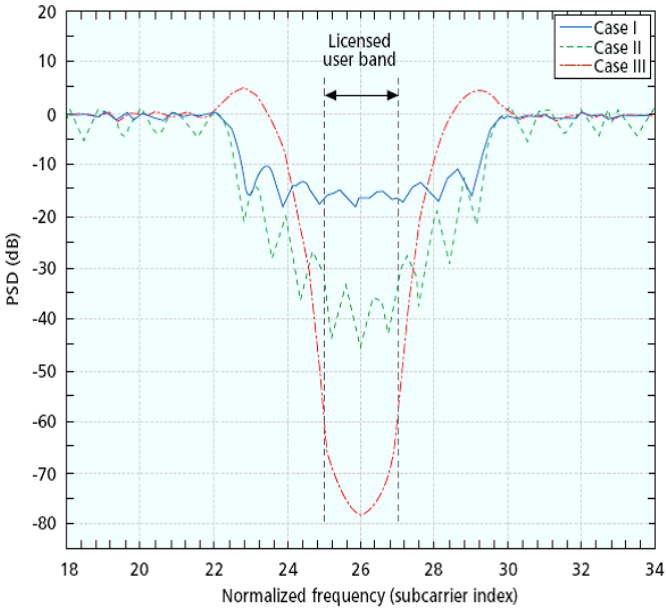
ه) تداخل متقابل

مهم‌ترین مسئله در سیستم‌های CR، تداخل نکردن یک UU با یک LU است. اما مدولاسیون OFDM دارای sidelobe است. بنابراین sidelobe های یک سیگنال UU می‌تواند با سیگنال‌های LU تداخل پیدا کند. پس باید sidelobe ها را تا جایی که می‌توانیم تضعیف کنیم. یکی از این روش‌ها، تکنیک پنجره کردن سیگنال در حوزه زمان است. مثلاً پنجره‌ای به صورت Raise Cosine استفاده کنیم. اما این کار پهنای باند مورد نیاز را زیاد می‌کند و در نتیجه عملکرد را بسیار ضعیف می‌کند. روش دیگر برای تضعیف sidelobe کمتر کرد ن تعداد زیرحامل های مورد استفاده است. در این روش زیرحامل های مجاور را صفر قرار می‌دهیم. این روش نیز عملکرد را بسیار تضعیف می‌کند. در مرجع [۱۲] روشی به نام Active Interference Cancellation پیشنهاد می‌دهد. در این روش به جای اینکه تعداد زیادی از زیرحامل ها را صفر قرار دهد و از آنها هیچ استفاده‌ای نکند، تعداد کمتری از زیرحامل ها را برای ارسال اطلاعات استفاده نمی‌کند اما این زیرحامل ها را صفر قرار نمی‌دهد، بلکه مقدارهای مناسبی قرار می‌دهدتا بتواند تا حد امکان sidelobe ها را تضعیف کند. بدیهی است این روش پیچیدگی محاسباتی بیشتری دارد.

---

[21] Unlicensed User
[22] Narrowband Interference
[23] Short Training Symbols
[24] Long Training Symbols

در مرجع [۱۳] شبیه‌سازی‌ای انجام شده‌است که عملکرد بسیار خوب روش سوم را نشان داده‌است. در این شبیه‌سازی، سیستم CR که از OFDM استفاده می‌کند و سایز FFT آن ۲۵۶ است و CP آن ۸ نمونه است، استفاده شده‌است. نمودار مربوط به این شبیه‌سازی در شکل (۵) ترسیم شده‌است، حالتی در نظر گرفته شده‌است که LU، زیرحامل، ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ را اشغال کرده‌است. بنابراین هدف این است که UU کمترین تداخل را در این فرکانس‌ها داشته‌باشد. در Case I، CR، زیرحامل های ۲۳ تا ۲۹ را غیرفعال می‌کند و حفره طیفی با عمق ۱۵ dB دست می‌یابد. در Case II، از پنجره Rise Cosine با Roll-off Factor ۰/۲۵ استفاده شده‌است. در این حالت زیرحامل ۲۳ تا ۲۹ نیز غیرفعال هستند و همچنین CP به دلیل عمود بودن سیگنال‌ها به ۶۴ نمونه افزایش یافته‌است. حفری طیفی در این حالت عمقی به اندازه ۳۰ dB دارد. در Case III از روش سوم استفاده شده‌است و CP نیز همان ۸ نمونه نگه داشته شده‌است. در این حالت فرکانس‌های ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ غیرفعال هستند و فرکانس‌های ۲۳ و ۲۴ و ۲۸ و ۲۹، برای از بین بردن sidelobe ها مقدارهایی گرفته‌اند. عمق حفره در این حالت به ۷۰ dB می‌رسد. بنابراین اگر عمق ۷۰ dB مورد نیاز باشد، در روش اول و دوم باید زیرحامل های زیادی را غیرفعال کرد.



شکل ۵- طیف حاصل از به کار گیری روش های مختلف OFDM

۴) نتیجه گیری

همانطور که می دانیم Cognitive Radio یکی از بهترین جواب هایی است که به مسئله کمبود فرکانس داده شده است. در این مقاله دیدیم که OFDM می تواند بسیاری از کارها را برای CR به راحتی انجام دهد بدون اینکه یک سیستم CR بخواهد از نرم افزار و یا سخت افزار اضافی دیگری استفاده کند و این دلیل اصلی روی آوردن به OFDM در سیستم های CR است.

مراجع

[1] M. Wylie-Green, “Dynamic Spectrum Sensing by Multiband OFDM Radio for Interference Mitigation,” *IEEE DySPAN*, 2005, pp. 619–25.

[2] J. Hillenbrand, T. A. Weiss, and F. K. Jondral, “Calculation of Detection and False Alarm Probabilities in Spectrum Pooling Systems,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 9, no. 4, 2005, pp. 349–51.

[3] T. Yücek and H. Arslan, “Spectrum Characterization for Opportunistic Cognitive Radio Systems,” *Proc. IEEE MILCOM*, 2006, pp. 1–6.

[4] T. Keller and L. Hanzo, “Adaptive Modulation Techniques for Duplex OFDM Transmission,” *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 49, no. 5, Sept. 2000, pp. 1893–1906.

[5] D. T. Harvatin and R. E. Ziemer, “Orthogonal Frequency Division Multiplexing Performance in Delay and Doppler Spread Channels,” *Proc. IEEE VTC*, vol. 3, May 1997.

[6] B. Razavi *et al.*, “Multiband UWB Transceivers,” *Proc.IEEE Custom Integrated Circuits Conf.*, Sept. 2005, pp. 141–48.

[7] D. E. Breen, Jr., “Characterization of Multi-Carrier Locator Performance,” Master’s thesis, Worcester Polytechnic Inst., May 2004.

[8] A. M. Wyglinski, “Effects of Bit Allocation on Non-Contiguous Multicarrier-Based Cognitive Radio Transceivers,” *Proc. IEEE VTC*, Sept. 2006.

[9] T. Weiss and F. K. Jondral, “Spectrum Pooling: An Innovative Strategy for the Enhancement of Spectrum Efficiency,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 3, Mar. 2004, pp. 8–14.

[10] Weiss, T. “Efficient signaling of spectral resources in spectrum pooling systems” *Proc. 10th Symp. Commun. and Vehic. Tech., Eindhoven, Netherlands*, Nov. 2003

[11] T. Weiss *et al.*, “Synchronization Algorithms and Preamble Concepts for Spectrum Pooling Systems,” *IST Mobile & Wireless TeleCommun. Summit*, June 2003.

[12] H. Yamaguchi, “Active Interference Cancellation Technique for MB-OFDM Cognitive Radio,” *Proc. IEEE Euro. Microwave Conf.*, vol. 2, Oct. 2004, pp. 1105–8.

[13] H. Mahmoud, T. Yucek, and H. Arslan, “Ofdm for cognitive radio: merits and challenges [accepted from open call],” *Wireless Communications, IEEE*, vol. 16, no. 2, pp. 6–15, April 2009.