

ارائه لایه فیزیکی مناسب برای شبکه‌های رادیو شناختی در مسیر فراسو بر اساس پارامتر PAPR

هلیا حسینی^۱، حمید شاهرخ شهرکی^۲

^۱دانشگاه کاشان، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، hosaini_helia@yahoo.com

^۲دانشگاه کاشان، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، shahrokh@kashanu.ac.ir

چکیده - شبکه‌های رادیو شناختی به دلیل استفاده فرصت طلبانه از فضاهای خالی طیفی و بالابردن بهره‌وری طیفی، در سالهای اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند. یکی از مهمترین مسائل مربوط به این شبکه‌ها انتخاب لایه فیزیکی مناسب جهت انتقال اطلاعات می‌باشد. در این مقاله ضمن بررسی دو ساختار مهم مورد توجه برای این شبکه‌ها در مسیر فراسو، که عبارتند از *NC-OFDM* و *SC-FDMA* عملکرد این دو ساختار مورد مقایسه قرار می‌گیرد. از آنجاییکه یکی از مهمترین مسائل در مسیر فراسو میزان پارامتر *PAPR* می‌باشد؛ با بررسی‌های صورت گرفته در نهایت نشان داده می‌شود که ساختار *SC-FDMA* عملکرد به مراتب بهتری به عنوان لایه فیزیکی خواهد داشت. نشان داده شده است که نتایج شبیه‌سازی بر موارد تحلیلی صحت‌گذاری می‌کند.

کلیدواژه- شبکه‌های رادیو شناختی، LTE، NC-OFDM، SC-FDMA

نوع مدولاسیون و غیره را تغییر داده و با محیط تطبیق دهد. به این ترتیب رادیو شناختی این قابلیت را خواهد داشت که از بخشهای خالی طیف بصورت فرصت طلبانه‌ای استفاده کرده و میزان بهره‌گیری طیفی را بصورت چشمگیری افزایش دهد.

یکی از مباحث اصلی در به‌کارگیری شبکه‌های CR، انتخاب لایه فیزیکی مناسب برای آن است. این لایه فیزیکی باید قابلیت تطبیق پذیری لازم برای به‌کارگیری در شرایط مختلف طیفی را داشته باشد به نحوی که انتقال اطلاعات کاربران ثانویه، تداخلی روی انتقال اطلاعات کاربران اولیه نداشته باشد.

یکی از بهترین گزینه‌ها برای لایه فیزیکی شبکه‌های CR، سیستم‌های انتقال چندحاملی مبتنی بر OFDM می‌باشند. از جمله ساختارهایی که در سالهای اخیر بطور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است، ساختار NC-OFDM می‌باشد. در این ساختار به منظور جلوگیری از ایجاد تداخل روی انتقال کاربران اولیه، تعدادی از زیرحامل‌ها غیر فعال می‌گردند و کاربران ثانویه

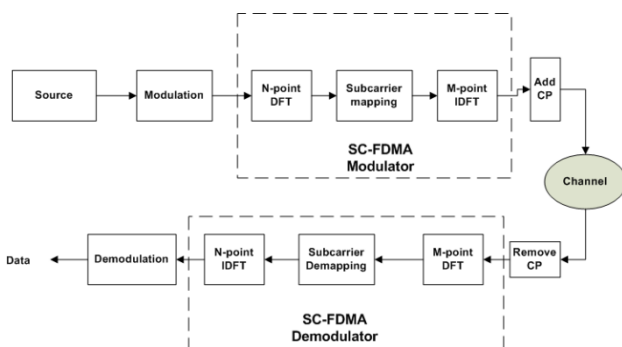
۱- مقدمه

محدودیت منابع فرکانسی از یک‌سو و به‌کارگیری نامناسب از آن از سوی دیگر، نیاز به یک تغییر ساختار کلی در نحوه استفاده از باندهای فرکانسی را الزامی ساخته است. یکی از روشهایی که می‌تواند بدین منظور مورد استفاده قرار گیرد، امکان استفاده از بخش‌های بلا استفاده از طیف (شامل بخش‌های تخصیص داده شده یا آزاد) برای کاربران ثانویه است. تکنیک رادیو شناختی (Cognitive Radio)، روشی است که برای این منظور معرفی شده و اخیراً به شدت مورد توجه قرار گرفته است [1][2].

رادیو شناختی، در واقع یک سیستم بی‌سیم هوشمند است که بصورت لحظه‌ای از شرایط ترافیک طیفی محیط خود آگاه بوده و این قابلیت را دارد که با توجه به این شرایط طیفی، پارامترهای داخلی خود از جمله توان فرستنده، فرکانس حامل،

فرستنده ابتدا داده‌های ارسالی به دسته‌های N تایی تقسیم می‌شود و سپس توسط عملیات DFT این داده‌ها به حوزه فرکانس نگاشت داده می‌شوند. در ادامه پس از فرآیند سنجش طیفی، فرستنده تعداد زیرحاملهای مجاز را جهت استفاده کاربران رادیوشناختی، تعیین کرده و به سایر زیرحاملها داده صفر اختصاص می‌دهد.

اگر تعداد زیرحاملهای قابل استفاده را با M ($N < M$) نشان دهیم، این ساختار قابلیت سرویس‌دهی به $K = M/N$ کاربر CR را بصورت همزمان خواهد داشت. از آنجاییکه این ساختار برای مسیر فراسو طراحی شده است، در ادامه داده‌های کاربر مورد نظر با انتخاب نوع آرایش ارسالی به زیرحاملهای مربوط به خود نگاشت می‌گردند و در نهایت از کل داده‌های زیرحاملها، $IFFT$ از مرتبه M گرفته می‌شود تا داده‌ها مجدداً به حوزه زمان برگردند. در آخرین بلوکی که در فرستنده وجود دارد، به دنباله ارسالی باند محافظ افزوده می‌شود تا سیگنال ارسالی در برابر کانال فیدینگ مقاوم بوده و از تداخل ISI جلوگیری به عمل آید. در گیرنده همانگونه که در شکل نشان داده شده است عکس عملیات فوق صورت می‌گیرد و پس از بکارگیری اکوالایزر مناسب و حذف اثرات مخرب کانال، در نهایت داده‌های کاربر مورد نظر استخراج می‌گردد.



شکل ۱. بلوک دیاگرام فرستنده-گیرنده برای ساختار SC-FDMA

از زیرحامل‌های باقیمانده جهت انتقال اطلاعات استفاده می‌کنند. اما مشکل اصلی این ساختار در مسیر فراسو داشتن نسبت بالای مقدار ماکزیمم به مقدار متوسط توان ارسالی است که تحت عنوان پارامتر PAPR شناخته می‌شود [3].

از سوی دیگر در آخرین تحقیقات و گزارشات ارائه شده توسط سازمان 3GPP، ساختار ویژه‌ای برای مسیر فراسو در استاندارد LTE معرفی شده است که تحت عنوان ساختار SC-FDMA شناخته می‌شود [4][5].

در این مقاله برآنیم که ضمن معرفی اجمالی هر دو ساختار، عملکرد این دو ساختار را به منظور بکارگیری در شبکه‌های رادیو شناختی مورد بررسی قرار دهیم. به ویژه به دلیل اهمیت پارامتر PAPR در مسیر فراسو، این پارامتر برای هر دو ساختار مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت گزینه مناسب برای لایه فیزیکی شبکه‌های CR در مسیر فراسو ارائه خواهد شد.

۲- توصیف کلی سیستم

همانگونه که اشاره شد، اساس عملکرد شبکه‌های رادیوشناختی بر مبنای استفاده فرصت طلبانه از قسمت‌های خالی طیف است. به این منظور ابتدا در مرحله سنجش طیفی، بازه طیفی مورد نظر بررسی شده و حفره‌های بلا استفاده در لحظه تعیین می‌گردند. در مرحله بعد به کاربران رادیو شناختی اجازه داده می‌شود که پارامترهای ارسالی خود را به نحوی تنظیم کنند که از این حفره‌های طیفی استفاده کرده و در عین حال روی سایر قسمت‌های طیف تداخلی نداشته باشند.

اساس عملکرد ساختار $NC-OFDM$ مشابه همان ساختار $OFDM$ است با این تفاوت که در این ساختار فقط به زیرحاملهایی که مربوط به حفره‌های طیفی هستند داده اختصاص داده می‌شود و به سایر زیرحاملها داده صفر تخصیص داده می‌شود. اما از آنجاییکه ساختار $SC-FDMA$ کمی متفاوت‌تر است، در ادامه به شرح بلوک دیاگرام این ساختار خواهیم پرداخت.

۲-۱- SC-FDMA

شکل ۱. بلوک دیاگرام کلی فرستنده-گیرنده را برای ساختار $SC-FDMA$ نشان می‌دهد. همانگونه که شکل نشان می‌دهد، در

۳- معرفی پارامترهای مهم در ساختار SC-FDMA

۳-۱- پارامتر PAPR

نسبت ماکزیمم توان ارسالی به مقدار متوسط توان ارسالی ($PAPR$)، یکی از مهمترین پارامترها در مسیر فراسو است. $PAPR$ برای ساختار چندحاملی معرفی شده، بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$PAPR = \frac{\max(|\bar{x}_m|^2)}{\frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} |\bar{x}_m|^2} \quad (1)$$

که در رابطه فوق

$$\bar{x}_m = \frac{1}{M} \sum_{l=0}^{M-1} \bar{X}_l e^{j \frac{2\pi}{M} ml} \quad m = 0, 1, \dots, M-1$$

در حقیقت خروجی بلوک $IDFT$ در فرستنده می‌باشد.

۳-۲- متعادل کننده

یکی دیگر از مواردی که در این ساختار اهمیت دارد، بکارگیری ساختار متعادل کننده یا اکوالایزر مناسب در گیرنده به منظور جلوگیری از تداخلات ISI است. بطور واضح سیگنال دریافتی در گیرنده در اثر عبور از کانال آغشته به نویز بوده و تحت اثرات فیدینگ کانال قرار گرفته است.

یکی از امتیازات ویژه مربوط به این ساختار نسبت به سایر ساختارهای تک فرکانس مانند $CDMA$ ، این است که می‌توان عملیات متعادل‌سازی را در حوزه فرکانس انجام داد. اینکار باعث می‌شود که طراحی و ساخت اکوالایزر بسیار ساده‌تر گردد.

همانگونه که در شکل ۱ مشخص شده است، پس از عملیات حذف باند محافظ و FFT از مرتبه M ، سیگنال دریافتی به حوزه فرکانس انتقال داده می‌شود. اگر اثر کانال را روی زیرحامل i ام با H_i نشان دهیم، اثر کانال با تکنیکهای ZF و $MMSE$ بصورت زیر حذف می‌گردد:

$$G_i = H_i^{-1} \quad ZF \quad (2)$$

$$G_i = \frac{H_i^*}{|H_i|^2 + \sigma^2} \quad MMSE \quad (3)$$

که در رابطه فوق σ^2 نشان دهنده واریانس نویز روی زیرحامل مربوطه، می‌باشد.

۳-۲- الگوی تخصیص زیرحامل

بطور کلی نحوه تخصیص زیرحامل‌ها در ساختار $SC-FDMA$ به دو دسته اصلی تخصیص متمرکز ($LFDMA$) و تخصیص غیرمتمرکز ($DFDMA$) تقسیم بندی می‌شوند [6].

در روش $LFDMA$ ، داده‌های مربوط به هر کاربر بطور متوالی روی زیرحامل‌های مربوطه نگاشت می‌شوند بنابراین یک بخش مشخص از پهنای باند به هر کاربر اختصاص داده شده است. اما در روش $DFDMA$ داده‌های کاربر با نظم مشخصی روی کل پهنای باند توزیع می‌شوند. بطور مثال با رعایت فواصل یکسان بین زیرحامل‌ها، می‌توان زیرحامل‌های مربوط به یک کاربر را بین کل زیرحامل‌ها توزیع کرد.

در این مقاله از آنجاییکه هدف بکارگیری این الگوها در شبکه‌های رادیوشناختی است؛ بنابراین الگوی تخصیص زیرحامل‌ها کمی متفاوت خواهد بود. در اینجا ابتدا تعداد کل زیرحامل‌های

۴- نتایج شبیه‌سازی

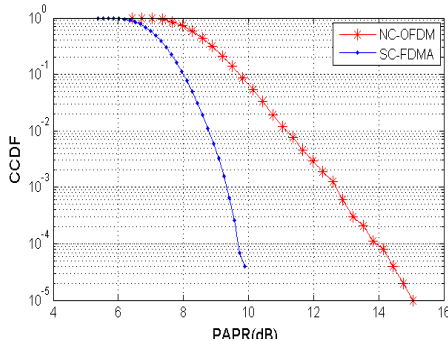
در این قسمت عملکرد سیستم‌های *NC-OFDM* و *SC-FDMA* در شبکه‌های رادیوشناختی، توسط شبیه‌سازی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در نرم افزار *MATLAB* بوده و به منظور دقیق‌تر شدن نتایج هر شبیه‌سازی بیش از ۱۰۰۰۰ بار تکرار شده است.

در شبیه‌سازی انجام شده، فرض بر این است که بخش سنجش طیفی در شبکه *CR*، بازه طیفی مورد نظر را بررسی کرده و حفره‌های طیفی قابل استفاده تعیین شده‌اند. تعداد کل زیرحامل‌های بازه طیفی مورد نظر ۵۱۲ فرض شده‌اند که این زیرحامل‌ها به چهار دسته ۱۲۸ تایی تقسیم‌بندی شده‌اند. فرض شده است که دسته زیرحامل‌های اول و سوم خالی بوده و دو دسته دیگر در لحظه مورد نظر به کاربران مجوزدار اختصاص داده شده است. به این ترتیب در مجموع ۲۵۶ زیرحامل بصورت گسسته برای انتقال داده‌های شبکه *CR* در اختیار خواهیم داشت.

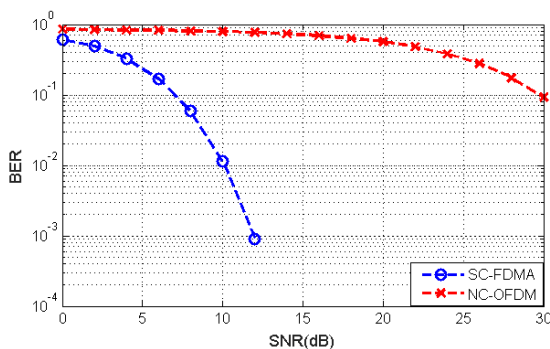
مدولاسیون مورد استفاده در فرستنده از نوع *8QAM* بوده است و کانال بی‌سیم مطابق با مدل *TS 25.104* که توسط موسسه *3GPP* برای شبیه‌سازی کانال توصیه شده است، در نظر گرفته شده است.

در شکل ۲. مقایسه پارامتر *PAPR* برای دو ساختار *NC-OFDM* و *SC-FDMA* در شبکه *CR* مفروض انجام گرفته است. همانگونه که شکل نشان می‌دهد، بر اساس متوسط آماری *(CCDF)*، پارامتر *PAPR* برای ساختار *SC-FDMA* به مراتب کمتر است. این مساله نشان می‌دهد که از این نظر این ساختار برای بکارگیری در مسیر فراسو، بسیار مناسبتر است.

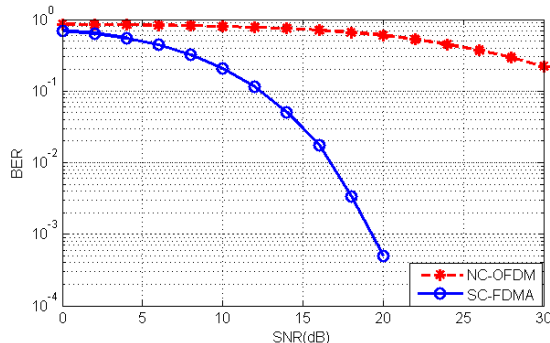
همچنین عملکرد دو ساختار از نظر احتمال خطا بر حسب مقدار *SNR* نیز برای گیرنده‌های ثابت و گیرنده‌های متحرک، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمودارهای شکل ۳. نتایج را برای گیرنده‌های ثابت و نمودارهای شکل ۴. نتایج شبیه‌سازی اهداف متحرک، نشان می‌دهد. همانگونه که از نتایج شبیه‌سازی واضح است، برای هر دو نوع کانال، عملکرد ساختار *SC-FDMA* بسیار بهتر از عملکرد *NC-OFDM* می‌باشد. این مساله بیانگر این حقیقت است که این ساختار از هر نظر برای بکارگیری در شبکه‌های رادیوشناختی ارجحیت دارد.



شکل ۲. مقایسه پارامتر *PAPR* برای دو ساختار *NC-OFDM* و *SC-FDMA* بر اساس *CCDF*



شکل ۳. عملکرد دو ساختار *SC-FDMA* و *NC-OFDM* برای گیرنده‌های ثابت بر اساس احتمال خطا به میزان *SNR*



شکل ۴. عملکرد دو ساختار *SC-FDMA* و *NC-OFDM* برای گیرنده‌های متحرک بر اساس احتمال خطا به میزان *SNR*

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله دو ساختار $NC-OFDM$ و $SC-FDMA$ برای بکارگیری در شبکه‌های رادیو شناختی در مسیر فراسو مورد ارزیابی قرار گرفتند. ضمن تشریح تئوری هر دو ساختار، پارامترهای اساسی مربوطه مطرح و بررسی گردید. در نهایت دو ساختار در یک سناریوی فرضی از شبکه‌های رادیو شناختی شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که ساختار $SC-FDMA$ هم از نظر $PAPR$ و هم از نظر احتمال خطا در گیرنده، نسبت به ساختار دیگر ارجحیت دارد. بنابراین ساختار $SC-FDMA$ به عنوان بهترین گزینه به عنوان لایه فیزیکی در مسیر فراسوی شبکه‌های رادیو شناختی پیشنهاد و تایید گردید.

مراجع

- [1] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 23, pp. 201-220, Feb. 2005.
- [2] F. Akyildiz, WY. Lee, MC. Vuran, and S. Mohanty, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey," *computer networks*, vol. 50, pp. 2127-2159, 2006.
- [3] T.A.Weiss and F.K.Jondral, "Spectrum pooling: An innovative strategy for the enhancement of spectrum efficiency," *IEEE commun.Mag.*, Vol.43, pp.S8-14, Mar.2004.
- [4] Bhang, Dinesh N., Pranita P. Dhakulkar, and Trushna G. Deotale. "Single Carrier Spread Spectrum Technique for Uplink." *International Journal of Electronics communication and Computer Engineering*, pp.4-7, 2013.
- [5] Kanchi, Sravanthi, et al. "Overview of LTE-A technology." *Global High Tech Congress on Electronics (GHTCE), 2013 IEEE*.
- [6] Rumney, Moray. "3gpp lte: Introducing single-carrier fdma." *Agilent Technologies White Paper* (2008)