

مقایسه بانک‌های فیلتر متعامد تبدیل موجک با تبدیل فوریه در سیستم‌های مبتنی بر OFDM

دامون شهبازتبار^۱، حمید فرخی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، d.shahbaztabar@birjand.ac.ir
^۲ استادیار گروه مخابرات، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، hfarrokhi@birjand.ac.ir

چکیده

تسهیم تقسیم فرکانس متعامد (OFDM) یک تکنیک مدولاسیون چندحامل است که برای پشتیبانی نرخ‌های داده بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این نوع مدولاسیون، از تبدیل فوریه به منظور برقراری تعامد بین زیرحامل‌ها استفاده می‌شود. به دلیل چند مسیره بودن کانال، یک پیشوند چرخشی، بزرگ‌تر از تاخیر فزونی کانال، به هر سمبل OFDM اضافه می‌گردد. پیشوند چرخشی سبب حذف تداخل بین سمبل‌ها می‌شود اما به دلیل این‌که اطلاعات مفیدی حمل نمی‌کند، بازدهی طیفی را کاهش می‌دهد. OFDM مبتنی بر تبدیل موجک، نیازی به پیشوند چرخشی ندارد. موجک‌ها هم در حوزه زمان و هم در حوزه فرکانس، دارای تمرکز مناسب، طول محدود و تعامد هستند. از این‌رو می‌توان از آنها به منظور تولید شکل موج مناسب، برای انتقال روی کانال همراه با محوشدگی استفاده نمود. در این مقاله یک مقایسه بین تبدیل فوریه و خانواده‌های متعامد تبدیل موجک در سیستم‌های مبتنی بر OFDM با هدف بهبود نرخ خطای بیت و افزایش کارایی این سیستم‌ها صورت گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تبدیلات موجک، عملکرد مناسب‌تری در مقایسه با تبدیل فوریه دارند.

کلید واژه‌ها: پیشوند چرخشی، تبدیل فوریه، تبدیل موجک، نرخ خطای بیت، OFDM.

چندحامل OFDM^۲ می‌باشد [۱]. بر خلاف FDM

که زیرحامل‌ها با یکدیگر هم‌پوشانی^۳ ندارند و حتی فاصله محافظ بین آنها قرار می‌دهند، در تکنیک OFDM، زیرحامل‌ها بر هم عمود می‌باشند. این تعامد در زیرحامل‌ها سبب می‌شود که با وجود هم‌پوشانی در حوزه فرکانس، در گیرنده از یکدیگر قابل تفکیک باشند. در نتیجه تعامد زیرحامل‌ها، سبب بهینه کردن پهنای باند سیستم‌های مخابراتی می‌شود [۲]. این تعامد بین زیرحامل‌ها در ابتدا توسط بانکی از

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، با رشد روز افزون ارتباطات و افزایش تقاضا برای استفاده از سرویس‌های بی‌سیم، سعی بر طراحی سیستم‌هایی است که برای ارسال نرخ داده‌ی بالا بر روی کانال همراه با محوشدگی^۱، بازدهی مناسبی داشته باشند. یک انتخاب مناسب برای شبکه‌های بی‌سیم پرظرفیت، مدولاسیون‌های چندحامل است. یکی از مهمترین مدولاسیون‌های

OFDM مرسوم مبتنی بر تبدیل فوریه بیان می‌گردد. در قسمت سوم، انتخاب موجک مناسب با توجه به ویژگی‌های خانواده‌های مختلف تبدیل موجک برای استفاده در OFDM صورت می‌گیرد. در قسمت چهارم، مدل سیستم OFDM مبتنی بر تبدیل موجک توضیح داده شده است. قسمت پنجم، نتایج پیاده‌سازی و عملکرد BER مورد تحلیل قرار می‌گیرد و در قسمت ششم، نتیجه‌گیری نهایی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

2. OFDM مبتنی بر تبدیل فوریه

در شکل 1 یک سیستم فرستنده و گیرنده OFDM نشان داده شده است. در این طرح، دنباله داده m_k ابتدا وارد سیستم می‌گردد سپس توسط یکی از مدولاسیون‌های $MPSK^{10}$ یا $MQAM^{11}$ مدوله شده و پس از مدولاسیون سمبل‌های داده مدوله شده، X_m را می‌سازند. در ادامه دنباله داده از حالت سری به صورت موازی تبدیل می‌شود و بر روی زیرحامل قرار می‌گیرد. این دنباله داده وارد بلوک IFFT می‌گردد، در نتیجه پردازش از حوزه فرکانس به حوزه زمان می‌رود و تعامل بین زیرحامل‌ها برقرار می‌گردد. خروجی گسسته در زمان حاصل از آن به صورت زیر می‌باشد:

$$X_{k(n)} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X_{m(i)} \exp\left(j2\pi \frac{n}{N} i\right) \quad (1)$$

که $X_{k(n)}$ (n عددی بین $0 \leq n \leq N-1$ می‌باشد) یک دنباله در حوزه زمان است و $X_{m(i)}$ (i عددی بین $0 \leq i \leq N-1$ می‌باشد) دنباله داده، شامل اعدادی در حوزه فرکانس می‌باشد. سپس پیشوند چرخشی به منظور مینیمم نمودن تداخل بین سمبل‌ها به سمبل OFDM اضافه می‌شود. بعد دنباله داده بار دیگر به صورت سری تبدیل می‌شود و ارسال صورت می‌گیرد. عکس عمل بالا در گیرنده انجام می‌گیرد، ابتدا داده از

نوسان‌سازها و ضرب‌کننده‌ها برقرار می‌شد، سپس استفاده از تبدیل فوریه گسسته در زمان (FFT) و عکس آن (IFFT) برای این منظور پیشنهاد شد [3]. ارسال بر روی کانال‌های چند مسیره⁴ سبب می‌شد که این تعامل در گیرنده از بین برود. برای جلوگیری از برهم خوردن تعامل بین زیرحامل‌ها در کانال چند مسیره، پیشوند چرخشی⁵ پیشنهاد شد [4]. پیشوند چرخشی یک کپی از چند نمونه انتهای سمبل OFDM است که به سمبل داده اضافه می‌شود. اگر طول پیشوند چرخشی هم مرتبه با تاخیر فزونی⁶ کانال باشد تداخل بین سمبل‌ها⁷ حذف می‌شود [5]. تخمین طول تاخیر فزونی کانال یک کار دشوار است و ممکن است این طول خیلی بزرگ باشد، در نتیجه عملکرد سیستم با اضافه کردن پیشوند چرخشی غیرقابل قبول می‌گردد. بر اساس استاندارد IEEE802.16.3، استفاده از پیشوند چرخشی سبب از دست رفتن 20 درصد از پهنای باند می‌شود [6 و 7]. تبدیل موجک⁸ به منظور جایگزین کردن با FFT و IFFT پیشنهاد شده است [8-11]. OFDM مبتنی بر تبدیل موجک نیاز به پیشوند چرخشی ندارد و یک روش مدولاسیون است، که به جای استفاده از تبدیل فوریه که دارای پایه‌های سینوسی و کسینوسی ثابت می‌باشد، از شکل موج‌های موجک متعامد که بسیار انعطاف‌پذیر هستند، استفاده می‌کند.

در این مقاله، بررسی عملکرد تبدیلات موجک در مقایسه با تبدیل فوریه با هدف بهبود کارایی سیستم‌های OFDM و بهبود نرخ خطای بیت⁹ (BER) صورت گرفته است. از آنجا که باید تعامل در زیرحامل‌های OFDM برقرار گردد، تمامی تبدیلات موجک متعامد مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که استفاده از تبدیل موجک می‌تواند سبب بهبود عملکرد سیستم‌های مبتنی بر OFDM گردد. مقاله به صورت زیر سازمان‌بندی شده است. قسمت دوم، شرح مختصری از سیستم‌های

ویژگی‌های مطلوب حوزه فرکانس فیلترهای موجک شامل کنترل: پهنای لوب¹² اصلی، حداکثر ارتفاع لوب‌های فرعی و هم‌پوشانی لوب‌های اصلی مجاور می‌باشند. ساختار یک پایه موجک کاملاً توسط فیلتر موجک مشخص می‌شود. در تحلیل عملکرد OFDM مبتنی بر تبدیل موجک توجه خود را به خانواده موجک‌هایی محدود می‌کنیم که ارتونرمال می‌باشند مانند هآر¹³، دابیچز¹⁴، سایملت¹⁵ و کوايفلت¹⁶. اولین نکته در انتخاب خانواده موجک مناسب این است که موجک انتخابی، ویژگی‌های مورد نیاز برای نمایش سیگنال در انتقال بی‌سیم روی کانال‌های همراه با محوشدگی را برآورده سازد. ویژگی‌هایی مانند: تعامد بین حامل‌های فرعی، محدودیت طیفی عالی و محلی‌سازی¹⁷ به قدر کافی قابل تنظیم در حوزه فرکانس. هر موجک ویژگی‌های مشخص خود را دارد که آن را نسبت به بقیه برای کاربرد معینی مناسب می‌سازد. بنابراین در حین طراحی یک سیستم، ویژگی‌های موجک‌های مختلف با توجه به نیازهای سیستم باید به‌دقت بررسی گردد. انتخاب موجک‌ها معمولاً با توجه به ویژگی‌های موجود در جدول 1 صورت می‌گیرد.

جدول 1: ویژگی‌های موجک‌های متعامد

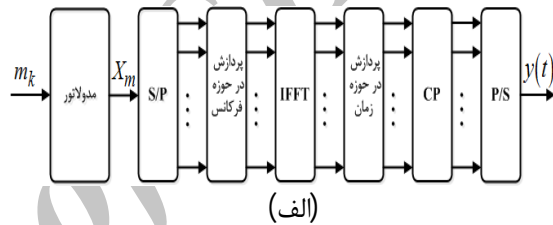
نام موجک	محدود بودن زمانی	تعامد	تقارن	ممان‌های صفرشونده
هآر	2	دارد	دارد	1
دابيچز	L	دارد	دور از تقارن	L/2
سایملت	L	دارد	نزدیک به تقارن	L/2
کوايفلت	L	دارد	نزدیک به تقارن	L/6

محدود بودن زمانی بیان‌کننده طول فیلتر است. در اغلب موارد به دلیل نیاز به محاسبات کمتر داشتن فیلتر با طول کمتر مناسب‌تر است. از طرفی طول فیلتر

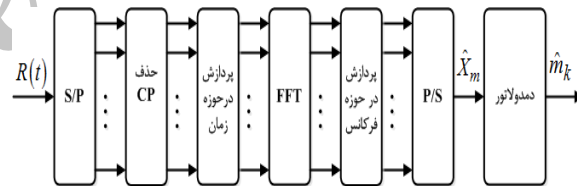
حالت سری به صورت موازی تبدیل می‌گردد و پیشوند چرخشی حذف می‌شود. داده وارد بلوک FFT می‌گردد، بنابراین پردازش دوباره از حوزه زمان وارد حوزه فرکانس می‌شود. خروجی حاصل از این بلوک به صورت زیر است:

$$R_m(i) = \sum_{n=0}^{N-1} R_k(n) \exp\left(-j2p \frac{n}{N} i\right) \quad (2)$$

سپس دنباله داده از حالت موازی به صورت سری تبدیل می‌شود و دنباله داده پس از دمدولاسیون بازیابی می‌گردد.



(الف)



(ب)

شکل 1: (الف) فرستنده OFDM و (ب) گیرنده OFDM

3. انتخاب موجک مناسب برای OFDM

در این‌جا تمرکز روی انتخاب فیلتر موجکی است که برای OFDM با نرخ بیت بالا و عملکرد نرخ خطای بیت بهبود یافته مناسب باشد. برای این منظور باید به تعدادی از نقاط کلیدی توجه داشته باشیم تا فیلترهای موجک را برای پیاده‌سازی بانک فیلترهای موجک انتخاب کنیم. ویژگی‌های مطلوب حوزه زمان فیلترهای موجک از جمله: طول محدود، تعامد، تعامد هم‌پوشان برای حفظ نرخ سیگنالینگ می‌باشند.

نیز ضرب داخلی ضرایب فیلتر بالاگذر با مزدوج ضرایب فیلتر پایین‌گذر را نشان می‌دهد و صفر بودن ضرب داخلی بیان‌کننده عمود بودن فیلترها می‌باشد [12]. (*نشان‌دهنده مزدوج بودن ضرایب است).

3.2. ویژگی دوباره بازسازی کامل

شکل 3، دوباره بازسازی کامل را در بانک فیلتر²¹ نشان می‌دهد. در سمت چپ، تبدیل موجک انجام می‌شود که بانک فیلتر آنالیز نیز نامیده می‌شود و در سمت راست آن، عکس تبدیل موجک انجام می‌گیرد، که بانک فیلتر سنتز نامیده می‌شود، این ساختار را یک بانک فیلتر دو کاناله می‌گویند. سمت چپ بانک فیلتر را در گیرنده و سمت راست آن را در فرستنده داریم. دوباره بازسازی کامل نمودن به این معنی می‌باشد که سیگنال خروجی از بانک فیلتر یعنی $y[n]$ ، با ورودی یعنی $x[n]$ ، یکسان باشد یا تنها از نظر زمانی دارای تاخیر می‌باشد، یعنی $x[n]=y[n-1]$ باشد.

با فرض این‌که این تاخیر زمانی برای دو ضریب $l=1$ باشد، مراحل عملکرد ریاضی دوباره بازسازی کردن به صورت زیر است:

مرحله اول: انتخاب ضرایب فیلتر برای ha ، این ضرایب را a و b فرض می‌کنیم، بنابراین داریم $ha=\{a,b\}$.

مرحله دوم: انتخاب ضرایب فیلتر برای ga ، این ضرایب را مشابه با ha ولی به صورت معکوس شده همراه با یک علامت منفی در نظر می‌گیریم، یعنی $ga=\{b,-a\}$.

مرحله سوم: انتخاب ضرایب فیلتر gs ، ضرایب این فیلتر را معکوس ha انتخاب می‌کنیم و داریم $gs=\{b,a\}$.

مرحله چهارم: انتخاب ضرایب فیلتر hs ، ضرایب این فیلتر را نیز معکوس ga انتخاب می‌کنیم. بنابراین داریم $hs=\{-a,b\}$.

در این صورت برای خروجی قسمت آنالیزکننده

رابطه‌ی مستقیم با خواص دیگر آن از قبیل تعداد ممان‌های صفر شونده¹⁸ دارد. تعامد، دوباره بازسازی کامل¹⁹ را که یکی از ویژگی‌های حیاتی موجک است تضمین می‌کند. برای استفاده در OFDM نیاز به موجک‌های متعام داریم ولی برای بقیه کاربردها تعامد همیشه ضروری نیست. تنها موجک متعام و متقارن با طول محدود هآر است. بنابراین به غیر از موجک هآر، موجک‌ها یا متعام هستند مانند دابیچز، سایملت و کوایفلت یا مانند موجک‌های غیر متعام، تنها متقارن هستند. موجک‌های سایملت و کوایفلت با هدف موجک متعام تا حد امکان متقارن طراحی شده‌اند.

3.1. ویژگی ارتونرمال بودن

خانواده‌های موجک هآر، دابیچز، سایملت و کوایفلت، اساساً ارتونرمال می‌باشند، به این معنی که فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر در آن‌ها هم عمود و هم نرمالیزه شده می‌باشند. با قراردادن h به عنوان ضرایب فیلتر پایین‌گذر و g به عنوان ضرایب فیلتر بالاگذر، اساس ارتونرمال بودن فیلترها به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\langle h \cdot h^* \rangle = 1 \quad (3)$$

$$\langle g \cdot g^* \rangle = 1 \quad (4)$$

$$\langle h \cdot g^* \rangle = 0 \quad (5)$$

$$\langle g \cdot h^* \rangle = 0 \quad (6)$$

رابطه 3، ضرب داخلی ضرایب فیلتر پایین‌گذر با مزدوج²⁰ خودش را نشان می‌دهد و رابطه 4، ضرب داخلی ضرایب فیلتر بالاگذر با مزدوج خودش را بیان می‌کند و یک بودن ضرب داخلی نشان‌دهنده این است که فیلترها اساس نرمال بودن را حفظ می‌کنند.

رابطه 5، ضرب داخلی ضرایب فیلتر پایین‌گذر با مزدوج ضرایب فیلتر بالاگذر را نشان می‌دهد و رابطه 6

می‌شود. در ادامه وارد بلوک سری به موازی می‌گردد. در این قسمت دنباله داده به N دنباله کوچک‌تر تقسیم می‌شود و دنباله داده بر روی N زیرحامل قرار می‌گیرد. در این‌جا عکس تبدیل موجک (${}^{22}IDWT$) گرفته می‌شود. خروجی ناشی از گرفتن عکس تبدیل موجک در فرستنده به صورت زیر است:

$$s(k) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} S_m^n 2^{m/2} \Psi\left(2^{\frac{m}{2}}k - n\right) \quad (24)$$

که S_m^n ضرایب موجک، $\Psi(t)$ تابع موجک با فاکتور فشرده‌سازی m^{23} و شیفت‌زمانی n برای هر زیرحامل می‌باشد (k عددی بین $0 \leq k \leq N-1$ است). بنابراین X_m را می‌توان قبل از این‌که عکس تبدیل موجک صورت بگیرد به صورت S_m^n نشان داد. در فرستنده و در بلوک عکس تبدیل موجک سیگنال به دو بخش، فرکانس‌های پایین و فرکانس‌های بالا تجزیه می‌گردد. سپس نمونه‌افزایی²⁴ شده، فرکانس‌های پایین با ضرایب فیلتر پایین‌گذر و فرکانس‌های بالای سیگنال با ضرایب فیلتر بالاگذر، کاتولوشن دایره‌ای انجام می‌دهند. ضرایب فیلتر پایین‌گذر، ضرایب تقریب و ضرایب فیلتر بالاگذر ضرایب جزئیات یا ضرایب موجک نامیده می‌شوند. هر دوی این فیلترها باید اساس ارتونرمال بودن و دوباره بازسازی کامل را فراهم کنند. ضرایب موجک سیگنال را در مقیاس و موقعیت و زمان نشان می‌دهد، مقیاس متناسب با عکس فرکانس می‌باشد. مقیاس پایین، متناسب با موجک فشرده²⁵ است و بدین معنی است که سیگنال دارای تغییرات سریع می‌باشد، یا سیگنال در فرکانس‌های بالا قرار دارد. مقیاس‌های بالا نشان دهنده موجک انبساط²⁶ یافته است، که به این معنی است که سیگنال به آرامی تغییر می‌کند یا سیگنال در فرکانس‌های پایین قرار دارد. به دلیل طبیعت هم‌پوشانی طیف از ویژگی‌های تبدیل موجک، دیگر نیاز به پیشوند چرخشی نداریم در نتیجه در ادامه سیگنال ارسال می‌گردد. در گیرنده عکس عمل بالا صورت می‌گیرد، داده دریافتی وارد بلوک تبدیل

$w[n]$ و $z[n]$ به صورت زیر می‌باشند:

$$w[n] = ax[n] + bx[n-1] \quad (7)$$

$$z[n] = bx[n] - ax[n-1] \quad (8)$$

چون $w[n]$ و $z[n]$ نیز تاخیری به اندازه l دارد، بنابراین داریم:

$$w[n-1] = ax[n-1] + bx[n-2] \quad (9)$$

$$z[n-1] = bx[n-1] - ax[n-2] \quad (10)$$

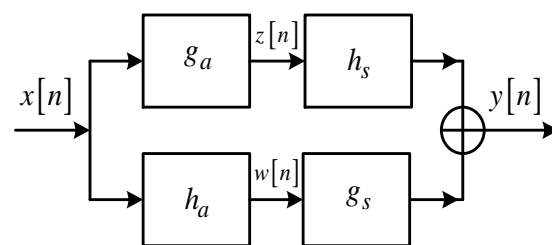
خروجی بانک فیلتر، $y[n]$ به صورت زیر می‌باشد:

$$y[n] = bw[n] + aw[n-1] - az[n] + bz[n-1] \quad (11)$$

با قرار دادن معادلات 7، 8، 9 و 10 در معادله 11 داریم:

$$y[n] = 2(a^2 + b^2)x[n-1] \quad (12)$$

در صورتی که داشته باشیم $2(a^2 + b^2) = 1$ ، بنابراین $y[n] = x[n-1]$ که به این معنی می‌باشد که خروجی بانک فیلتر با ورودی یکسان بوده و تنها یک واحد تاخیر دارد، در نتیجه دوباره بازسازی کامل انجام می‌گیرد [12].



شکل 3: بانک فیلتر دو کاناله

4. مدل سیستم OFDM مبتنی بر تبدیل موجک

یک فرستنده و گیرنده OFDM مبتنی بر تبدیل موجک در شکل 2 نشان داده شده است. ابتدا دنباله داده ورودی mk وارد سیستم می‌شود. سپس توسط مدولاسیون BPSK، مدوله شده و به X_m نگاشت

کانال واقعی تفاوت بسیار دارد و نیاز به مدلی که اثر تداخل بین سمبل‌ها را در کانال واقعی مدل کند ضروری می‌باشد. برای شبیه‌سازی در کانال رایلی از مدل کلارکس²⁸ با دو مسیر استفاده شده است [13 و 14]. در این شبیه‌سازی فرض شده که فرستنده و گیرنده با هم سنکرون باشند و هیچ‌گونه عمل متعادل‌سازی و کدینگ در شبیه‌سازی استفاده نشده است. عملکرد BER در هر دو کانال با خانواده موجک‌های متعامد مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته، همچنین تغییرات در BER با افزایش طول فیلتر شبیه‌سازی شده و مورد تحلیل قرار گرفته است.

5.1. تحلیل عملکرد سیستم

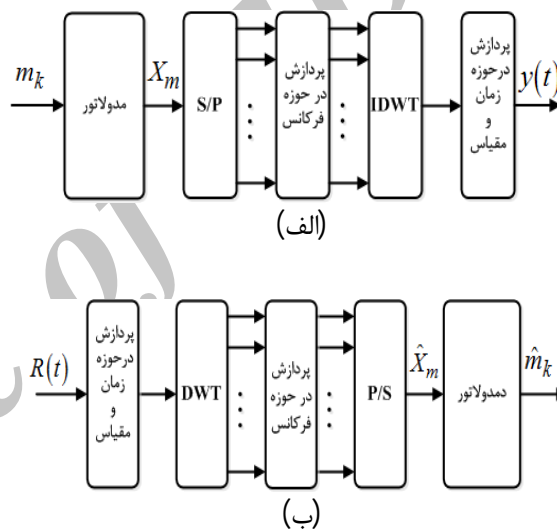
شکل 5 و 6 عملکرد BER، تبدیل موجک هار را نشان می‌دهد. شکل 7 و 8 عملکرد BER سیستم مبتنی بر تبدیل موجک دابلیچز، شکل 9 و 10، عملکرد BER سیستم مبتنی بر تبدیل موجک سایملت و در نهایت شکل 11 و شکل 12 عملکرد تبدیل موجک کوایفلت را با افزایش طول فیلتر به ترتیب در کانال AWGN و رایلی نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی بیان‌کننده این است که کف احتمال خطا با افزایش طول فیلتر افزایش می‌یابد. بنابراین به منظور محاسبات کمتر، عملکرد BER مناسب‌تر و همچنین جلوگیری از افزایش طول سیگنال ارسالی و تداخل با سیگنال بعدی یا قبلی، داشتن فیلتر با طول کوتاه‌تر مناسب‌تر است.

شکل 11 بررسی مقایسه‌ای نتایج شبیه‌سازی عملکرد BER سیستم در کانال AWGN را نشان می‌دهد، برای مثال تبدیل موجک هار در $BER = 10^{-2}$ نیازمند $SNR \cong 7dB$ می‌باشد، در حالی که تبدیل فوریه نیازمند $SNR \cong 26dB$ می‌باشد. بنابراین تقریباً 19dB بهره در SNR با استفاده از تبدیل موجک هار در این BER بدست می‌آید. همچنین تبدیل موجک دابلیچز با طول فیلتر 2 برای $SNR < 27dB$ ، سایملت با طول فیلتر 3 برای

موجک می‌گردد، باز هم سیگنال به دو بخش تجزیه می‌شود و سپس کاهش نمونه²⁷ صورت می‌گیرد، خروجی حاصل از تبدیل موجک به صورت زیر می‌باشد:

$$S_m^n = \sum_{k=0}^{N-1} s(k) 2^{m/2} \Psi(2_k^m - n) \quad (25)$$

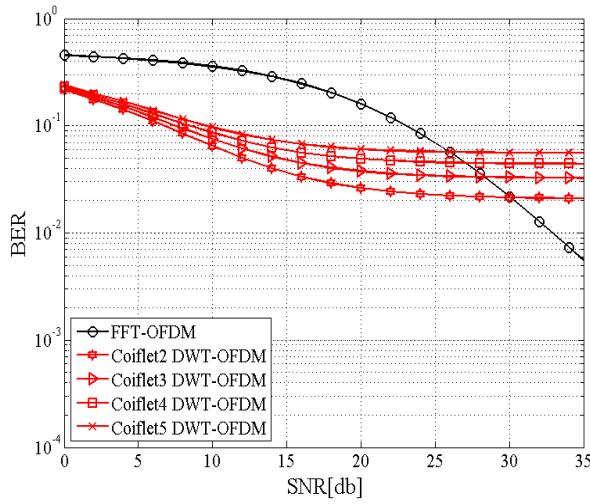
سپس دنباله داده از حالت موازی به صورت سری تبدیل می‌گردد و از روی S_m^n می‌توان \hat{X}_m را بدست آورد و بعد از دمدولاسیون \hat{d}_k را بازیابی نمود [7 و 11].



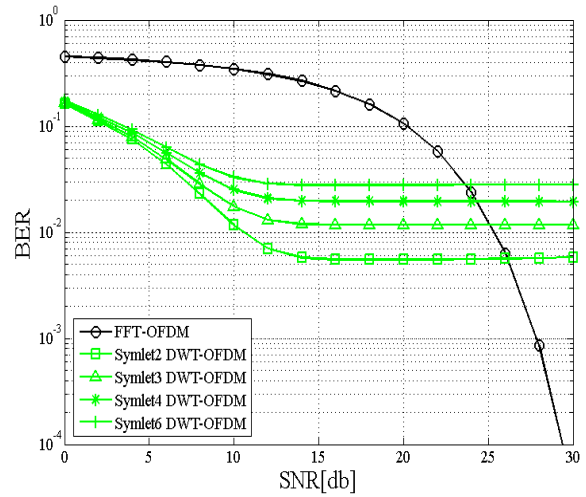
شکل 2: (الف) فرستنده OFDM و (ب) گیرنده OFDM مبتنی بر تبدیل موجک

5. پارامترهای شبیه سازی

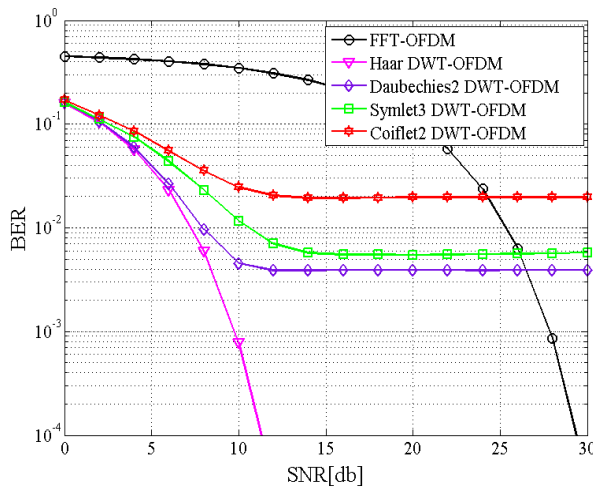
در این قسمت با استفاده از شبیه‌سازی موثر بودن تبدیل موجک، در مقایسه با تبدیل فوریه در کانال AWGN و رایلی نشان داده می‌شود. شبیه‌سازی با نرم‌افزار MATLAB صورت گرفته است. سیستم OFDM با 128 زیرحامل در نظر گرفته شده است، به منظور مقایسه صحیح، پیشوند چرخشی برای OFDM مبتنی بر تبدیل فوریه در نظر گرفته نشده است. به دلیل این‌که در کانال AWGN اثر تداخل بین سمبل‌ها در نظر گرفته نمی‌شود، بنابراین با مدل



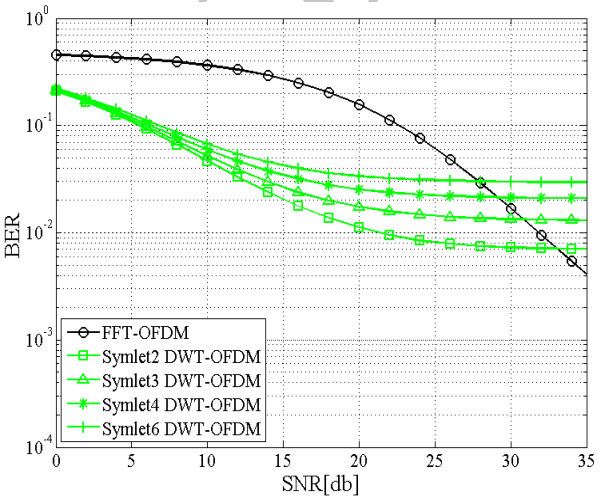
شکل 12: عملکرد تبدیل موجک کویفلت در کانال رایلی



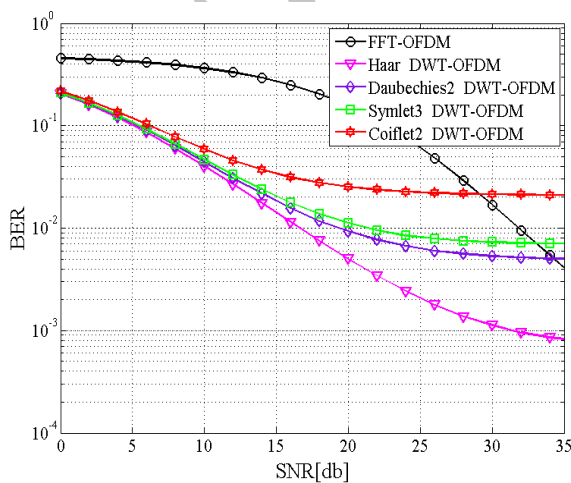
شکل 9: عملکرد تبدیل موجک سایملت در کانال AWGN



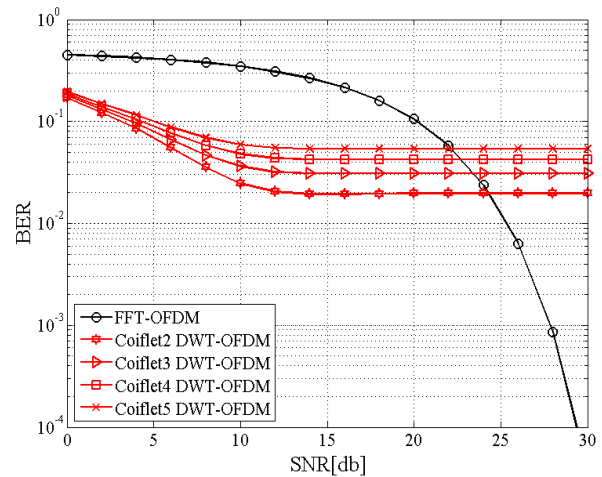
شکل 13: مقایسه عملکرد تبدیلات موجک در کانال AWGN



شکل 10: عملکرد تبدیل موجک سایملت در کانال رایلی



شکل 14: مقایسه عملکرد تبدیلات موجک در کانال رایلی



شکل 11: عملکرد تبدیل موجک کویفلت در کانال AWGN

DWT-OFDM system in AWGN channel,” *Proc. Int. Conf. IEEE Computer Society on Wireless and Mobile Communications*. Greece, pp. 124-129, 2008.

- [7] M. K. Lakshamanan, H. Nikookar, “A review of wavelet for digital wireless communication” *Springer Journal. on Wireless Personal Communication*, Vol. 37, No. 3-4, pp. 387-420, 2006.
- [8] B. G. Negash and H. Nikookar, “Wavelet-based multicarrier transmission over multipath wireless channels” *IEEE Electronics Letters*. Vol. 36, No. 21, pp. 1787-1788, 2000.
- [9] S. L. Linfoot, M. K. Ibrahim and M. M. Al-Akaidi, “Orthogonal wavelet division multiplex: an alternative to OFDM” *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, Vol. 53, No. 2, pp. 278-284, 2007.
- [10] A. Li, W. Shieh and R. S. Tucker, “Wavelet packet transform-based OFDM for optical communications” *IEEE Trans. Lightwave Technology*, Vol. 28, No. 24, pp. 3519-3528, 2010.
- [11] S. D. Sandberg and M. A. Tznanes, “Overlapped discrete multitone modulation for high speed copper wire communications,” *IEEE Journal. on Selected Area in Communications*, Vol. 13, No. 9, pp. 1571-1585, 1995.
- [12] M. Weeks, *Digital Signal Processing Using Matlab and Wavelets*. Infinity Science Press LLC, pp. 275-336, 2007.
- [13] Y. R. Zheng, C. Xiao, “Improved model for the generation of multiple uncorrelated rayleigh fading waveforms” *IEEE Communication Letter*. Vol. 6, No. 6, pp. 256-258, 2002.
- [14] Y. V. Zakharov, T. C. Tozer, J. F. Adlard, “Polynomial spline-approximation of clarke’s model” *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 52, No. 5, pp. 1198-1208, 2004.

6. نتیجه‌گیری

در این مقاله عملکرد BER در یک سیستم مبتنی بر OFDM با استفاده از تبدیلات موجک متعامد مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و با تبدیل فوریه نیز مقایسه شد. نتیجه این‌که از میان خانواده‌های بررسی شده، تبدیل موجک هآر بهترین عملکرد را نسبت به سایر خانواده‌های تبدیل موجک و تبدیل فوریه دارد. از آن‌جا که عملکرد مناسب در سیگنال به نویزهای پایین از اهمیت بیشتری برخوردار است، سایر خانواده‌های تبدیل موجک نیز دارای عملکرد مناسبی نسبت به تبدیل فوریه هستند. از طرف دیگر افزایش طول فیلتر علاوه بر محاسبات بیشتر، سبب کاهش عملکرد سیستم می‌گردد، بنابراین از تبدیلات موجک با طول فیلتر کمتر باید استفاده نمود. به طور کلی نتیجه می‌شود که می‌توان به منظور بهره‌وری طیفی مناسب‌تر تبدیل موجک را در OFDM، جایگزین تبدیل فوریه نمود.

7. مراجع

- [1] L. Hanzo, M. Munster, B. J. Choi and T. Keller, *OFDM and MC-CDMA: A Primer*. John Wiley & Sons, pp. 1-18, 2006.
- [2] R. Prasad, *OFDM for Wireless Communications Systems*. Artech House, pp. 11-15, 2004.
- [3] S. B. Weinstein and P. M. Ebert, “Data transmission by frequency division multiplexing using the discrete Fourier transform” *IEEE Trans. on Communication Technology*, Vol. 19, No. 10, pp. 628-634, 1971.
- [4] R. V. Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*. Artech House, pp. 39-42, 2000.
- [5] K. Fazel and S. Kaiser, *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems*. John Wiley & Sons, pp. 24-30, 2003.
- [6] D. Gupta, V. Bratas, K. K. Garay, “Performance analysis of DFT-OFDM and DCT-OFDM and

- ¹ Fading
- ² Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- ³ Overlap
- ⁴ Multipath Channels
- ⁵ Cyclic Prefix (CP)
- ⁶ Delay Spread
- ⁷ Inter Symbol Interference (ISI)
- ⁸ Wavelet Transform
- ⁹ Bit Error Rate (BER)
- ¹⁰ M-ary Phase Shifting Keying
- ¹¹ M-ary Quadrature Amplitude Modulation
- ¹² Lobe
- ¹³ Haar
- ¹⁴ Daubechies
- ¹⁵ Symlets
- ¹⁶ Coiflets
- ¹⁷ Localization
- ¹⁸ Vanishing Moments
- ¹⁹ Perfect Reconstruction
- ²⁰ Conjugate
- ²¹ Filter Bank
- ²² Inverse Discrete Wavelet Transform
- ²³ Compressed Factor
- ²⁴ Upsample
- ²⁵ Compress
- ²⁶ Stretch
- ²⁷ Downsample
- ²⁸ Clarke's

Archive