

بررسی عملکرد مدولاسیون ترکیبی طیف گسترده چندحامل (MC-CDMA) در مخابرات فیبر نوری در حضور AWGN و پاشیدگی فیبر

فاطمه غنمی<sup>۱</sup>، امیر عباسی<sup>۲</sup>

(۲۱) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده:

رشد استفاده از اینترنت، از نظر تعداد کاربران و تعداد ساعاتی که صرف استفاده از آن می شود، باعث افزایش تقاضای پهنای باند گردیده و همین عامل مهمترین دلیل برای ضرورت حرکت به سمت شبکه های مخابراتی فیبر نوری و استفاده از مدولاسیون های OFDM، CDMA به تنهایی مورد بررسی و شبیه سازی قرار می گیرند. سپس به منظور افزایش بهره عرض باند این دو مدولاسیون ترکیب شده و عملکرد آن در حضور AWGN، تضعیف و پاشیدگی فیبر مورد بررسی و شبیه سازی قرار می گیرند. در این مقاله از کدهای OOC برای تخصیص کد به کاربران استفاده شده و گیرنده یک آشکارساز PIN است. نتایج شبیه سازی در شرایط مختلف با هم مقایسه شده و ارجحیت ترکیب این دو مدولاسیون بر سایر روش ها از نظر بهره عرض باند نشان داده شده است.

واژه های کلیدی:

OFDM, CDMA, MCCDMA, OOC

۵ مطرح می شود. در بخش ۶ به عنوان روش ترکیبی جدید مدولاسیون طیف گسترده چند حامل در فیبر نوری پیشنهاد می شود. نتایج شبیه سازی مربوط به ترکیب CDMA و OFDM در فیبر نوری مطرح شده با نتایج هر یک از مدولاسیون ها، با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف در بخش ۷ مقایسه شده است. برای امکان مقایسه بین CDMA و OFDM در فیبر با مدولاسیون ترکیبی از تقریب های یکسانی استفاده شده است. در بخش ۸ نتیجه گیری ارایه می گردد.

## ۲- خواص خطی فیبر نوری

خواص خطی فیبر نوری شامل تلفات و پاشیدگی است. تلفات از منابع مختلفی شامل تلفات جذبی، تلفات خمش فیبر نوری، تلفات پراکندگی و تلفات در ورودی و خروجی فیبر نوری ناشی می شود. اگر  $P_0$  توان رسیده در ورودی یک فیبر نوری به طول  $L$  باشد، توان انتقالی کلی  $P_T$ ، به صورت زیر است [۱]:

که ضریب تضعیف  $\alpha$  یک مقیاس از تلفات فیبر نوری ناشی از انواع تلفات است که  $\alpha$  را برحسب dB/km بوده و به صورت زیر است [1]:

قابل ذکر است که تلفات فیبر وابسته به طول موج نور است و حدود 0.2 dB/km در طول موج ۱,۵۵ میکرومتر است [۲].

علاوه بر تلفات، پاشیدگی فیبر نوری نیز جزو اثرات خطی فیبر نوری می باشد که عبارتست از

گسترش ارتباطات اینترنتی و ظهور شبکه های محلی<sup>۱</sup> تقاضای پهنای باند بیشتر از سوی کاربران روز به روز افزایش می دهد. وجود ویژگی های منحصر بفرد فیبر نوری از جمله پهنای باند وسیع آن باعث محبوبیت آن و گسترش مخابرات نوری گردیده است. در شبکه های فیبر نوری تکنیک های مختلفی جهت تسهیم سازی<sup>۲</sup> مورد استفاده قرار می گیرد که از جمله آنها تکنیک تسهیم سازی کد (CDM<sup>۳</sup>) است. این تکنیک به خاطر امنیت بالا در سیستم های مخابراتی بی سیم مدتهاست مورد توجه قرار گرفته و قابلیت آن در سیستم های مخابراتی بی سیم باعث به وجود آمدن ایده به کارگیری آنها در سیستم های مخابراتی نوری شده است. همچنین در سال های اخیر تحقیقات در زمینه مدولاسیون تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM<sup>۴</sup>) برای انتقال در سیستم های فیبر نوری آغاز شده است و با توجه به عواملی چون وفق یافتن با نرخ داده در کانال و بازده طیفی بالا، به صورت<sup>(۱)</sup>  $P_T = P_0 \exp(-\alpha L)$  نمایی در حال رشد است.

در این مقاله، در بخش ۲ خواص خطی فیبر نوری بررسی می گردد. در بخش ۳ معادلات مربوط به انتشار پالس در فیبر نوری مطرح شده است. بخش ۴ به مدولاسیون تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM) اختصاص دارد. مقدمه ای از سیستم های دستیابی با تسهیم کد (CDMA<sup>۵</sup>) و معرفی کدهای OOC در بخش

<sup>1</sup> Local Area Network

<sup>2</sup> Multiplexing

<sup>3</sup> Code Division Multiplexing

<sup>4</sup> Orthogonal Frequency Division Multiplexing

<sup>5</sup> Code Division Multiplexing Access

که  $\hat{D}$  یک عملگر خطی است که شامل اثرات خطی فیبر نوری (تلفات و پاشیدگی) و  $\hat{N}$  یک عملگر غیر خطی است که اثرات غیر خطی فیبر نوری روی انتشار پالس را شامل می شود. این دو عملگر به صورت زیر تعریف می شوند [۱]:

در این مقاله روش SSF برای حل معادله (۵) استفاده شده است.

#### ۴-OFDM

این مدولاسیون یک تکنیک چند حامل است. ایده اصلی در مدولاسیون های چندحامل این است که یک رشته داده متوالی با نرخ بالا را به یک رشته داده موازی با نرخ کمتر تبدیل می کند. از آنجا که نرخ اطلاعات بر روی هر زیر حامل بمراتب کمتر است، بنابراین اثر پاشیدگی کاهش پیدا می کند. در این روش کل پهنای باند به تعداد مناسبی زیر کانال تقسیم می شود.  $\frac{\beta_2 \partial^2 A}{2 \partial T^2}$  و  $\frac{\alpha}{2} |A|^2$  را می توان به عنوان یک سهم در ارسال می گوید. اگر تعداد زیرکانال ها را  $N_s$  و دوره هر سمبل داده را  $T_d$  در نظر بگیریم، دوره سمبل OFDM برابر است با  $T_s = N_s \cdot T_d$ . با توجه به مطالب فوق پوش سمبل OFDM با شکل پالس مستطیلی بصورت رابطه زیر می باشد [۴-۹]:

$$\frac{\partial A}{\partial z} = (\hat{D} + \hat{N})A \quad (6)$$

بلاک دیاگرام OFDM در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده می شود،

وابستگی ضریب شکست فیبر، و در نتیجه سرعت نور در آن، به طول موج. در این مقاله به پاشیدگی رنگی می پردازیم. پاشیدگی فیبر نوری یک نقش مهم را در انتشار پالس های نوری کوتاه، به دلیل اجزای طیفی مختلف مرتبط با ارسال پالس در سرعت های متفاوت  $c/n(f)$  دارد. پهن شدگی پالس نوری از پاشیدگی یک اثر مخرب مهم بر مخابرات نوری است. اثر پاشیدگی فیبر نوری توسط  $\hat{N}$  ثابت انتشار  $\beta$  به صورت زیر بیان می شود [۱]:

$$\beta(f) = \beta_0 + \beta_1(f - f_0) + \frac{1}{2}\beta_2(f - f_0)^2 + \dots \quad (3)$$

#### ۳-انتشار پالس در فیبر نوری

در این مقاله با فرض اینکه عرض پالس ها از ۵ پیکوثانیه بیشتر باشد ( $T_0 > 5ps$ )، همچنین با توجه به اینکه میزان پاشیدگی مرتبه سوم برای چنین پالس هایی بسیار کوچک است. بنابراین معادله غیر خطی شرودینگر حاصل از ترکیب معادلات ماکسول به فرم زیر ساده می شود [۱]:

که  $A$ ،  $z$ ،  $T$  و  $\gamma$  به ترتیب عبارتند دامنه میدان نوری، طول فیبر، زمان و ضریب غیر خطی فیبر نوری.

برای حل عددی معادله (۵) می توان آن را به صورت مجموع دو جزء خطی و غیر خطی نوشت که به روش

$$x(t) = \frac{1}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} S_n e^{j2\pi f_n t} \quad 0 \leq t \leq T_s \quad (9)$$

است که در این مقاله از کدهای OOC استفاده شده است [۱۰، ۱۱].

### (OOC-۵-۱-کدهای متعامد نوری)

کاربرد اصلی کدهای OOC در سیستم‌های CDMA غیرهمگام است. در سیستم‌های CDMA غیرهمگام زمان شروع بیت‌های اطلاعاتی کاربران همزمان نیست. به بیان دیگر، رشته بیت‌های کدشده کاربران مختلف می‌توانند هر وضعیتی نسبت بهم داشته باشند. ویژگی‌های زیر در کدهای OOC باعث مناسب بودن آنها برای بکارگیری در سیستم‌های CDMA غیرهمگام است.

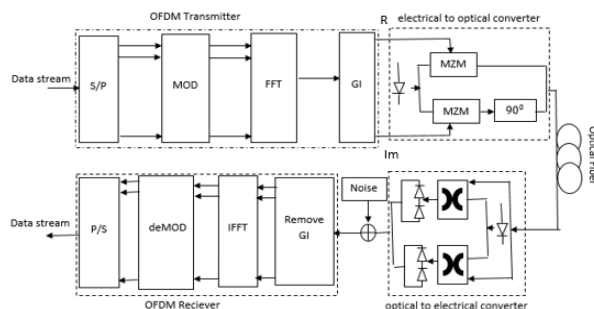
- ۱) هر کد به آسانی از روی شیفت یافته خودش قابل شناسایی است.
- ۲) هر کد حتی با شیفت یافته رشته‌های دیگر متفاوت است.

در سیستمی با کدهای OOC، حداکثر تعداد کاربران شبکه محدود است. اگر  $N$  تعداد کاربران یا تعداد کدهای تولیدی با این روش باشد، با معلوم بودن مقادیر  $W$  و  $F$  داریم [14]:

در این رابطه  $W$  بیانگر وزن کد (تعداد یک‌ها در رشته کد) است،  $F = \frac{T_b}{T_c}$  یا طول کد است و  $\lfloor \cdot \rfloor$  به معنای جزء صحیح می‌باشد. بلاک دیاگرام CDMA در شکل ۲ نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، اطلاعات مدوله شده و کد شده همه کاربران، قبل از تبدیل به سیگنال نوری با هم جمع شده، و پس از

ابتدا اطلاعات به صورت موازی در آمده و پس مدولاسیون و عمل IFFT، بازه محافظ اضافه شده و سیگنال الکتریکی با استفاده از دو مدولاتور ماخ زندر و لیزر به سیگنال نوری تبدیل می‌شود، سیگنال نوری وارد فیبر نوری شده و در گیرنده پس از آشکارسازی، عکس عملیات فرستنده برای بازیابی اطلاعات صورت می‌گیرد. در گیرنده نیز از لیزری مشابه لیزر فرستنده برای آشکارسازی هم‌دوس استفاده می‌کنیم. بنابراین در سرتاسر این مقاله OFDM هم‌دوس مد نظر است.



شکل ۱- بلاک دیاگرام مورد استفاده برای شبیه سازی OFDM در فیبر نوری.

### DS-CDMA مستقیم یا DS-SS-CDMA سیستم

یکی از انواع مدولاسیون‌های پیچیده گسترده CDMA است. قاعده کلی در این روش این است که

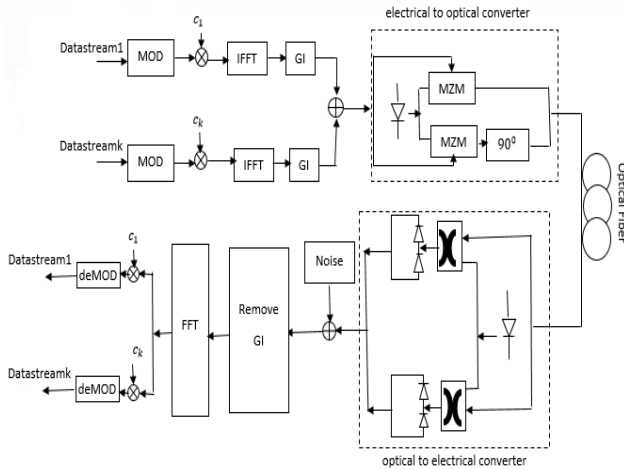
$$N \leq \frac{W(W-1)}{2} \quad (10)$$

سیگنال اطلاعات با پهنای باند  $B_s$  در پهنای باند  $B$  که  $B > B_s$  می‌باشد با استفاده از کد گسترش داده می‌شود. این کدها باید دارای مشخصه خودهمبستگی<sup>۱</sup> و همبستگی متقابل<sup>۲</sup> مناسب باشند تا تداخل سایر کاربران کاهش یابد. لازم به ذکر

<sup>۱</sup> Auto Correlation

<sup>۲</sup> Cross Correlation

تبدیل به سیگنال نوری وارد فیبر نوری شده و در گیرنده عکس عملیات فرستنده جهت بازیابی اطلاعات صورت می گیرد [۱۲].



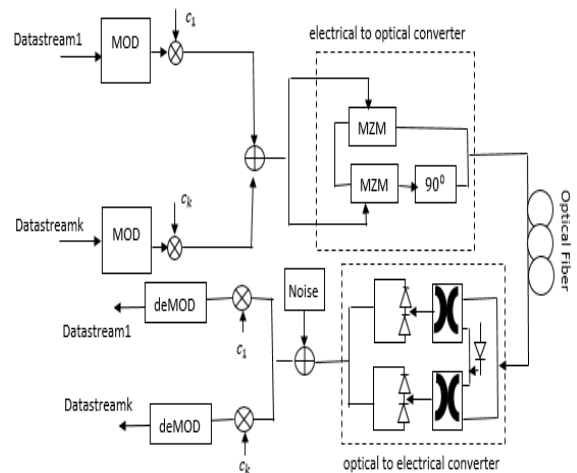
شکل ۳- بلاک دیاگرام مورد استفاده برای شبیه سازی MCCDMA در فیبر نوری.

### ۷- نتایج شبیه سازی

در این بخش عملکرد مدولاسیون طیف گسترده چندحامل را در مخابرات فیبر نوری از طریق شبیه سازی مورد ارزیابی قرار می دهیم. شبیه سازی ها شامل شبیه سازی اثرات خطی فیبر نوری، نویز، OFDM در فیبر، CDMA در فیبر، مدولاسیون OFDM-CDMA یا همان MC-CDMA در فیبر نوری می باشد. برای مدل کردن کانال از معادله غیر خطی شرودینگر استفاده می شود. نویز موجود در سیستم بصورت AWGN شبیه سازی می شود. نتایج شبیه سازی را برای OFDM همدوس، CDMA و MC-CDMA در فیبر نوری انجام و باهم مقایسه می کنیم. همچنین به ازای پارامترهای مختلف نتایج شبیه سازی را بررسی خواهیم نمود. سایر نتایج و شبیه سازی های انجام شده در ادامه این بخش نشان داده شده است.

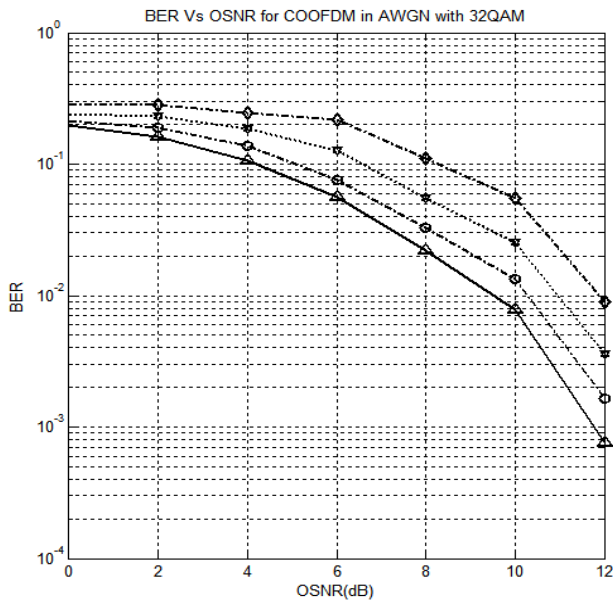
ابتدا به بررسی اثرات خطی بر روی OFDM در فیبر می پردازیم. اثر خطی فیبر نوری و نویز، بر عملکرد مدولاسیون

۶- مدولاسیون ترکیبی طیف گسترده چند حامل یکی از انواع مدولاسیون طیف گسترده چندحامل، MC-CDMA است که ترکیب متوالی دو سیستم DS-CDMA و سیستم OFDM می باشد و به عنوان یک روش جدید در این بخش معرفی می شود. در این روش دنباله کد در سمبل ورودی ضرب می شود و یک سمبل بطور موازی بر روی چند زیرحامل ارسال می گردد. هر کاربر برای ارسال یک سمبل تمام پهنای باند را اشغال می کند. بلاک دیاگرام روش پیشنهادی در این مقاله برای شبیه سازی MCCDMA در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- بلاک دیاگرام مورد استفاده برای شبیه سازی CDMA در فیبر نوری

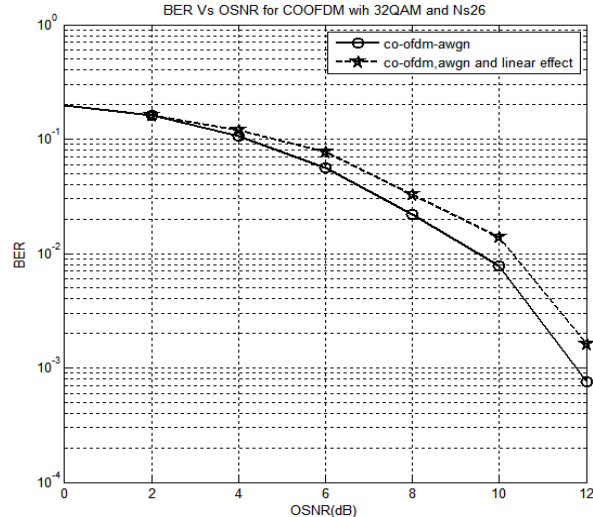
عملکرد سیستم بهبود می یابد و این بدلیل آنست که تعداد زیر حامل هایی که همزمان وارد فیبر می شوند بیشتر شده و در نتیجه اثر نویز بر یک زیر حامل کمتر می شود.



شکل ۵- تاثیر افزایش تعداد زیر حامل ها بر عملکرد OFDM همدوس در حضور نویز.

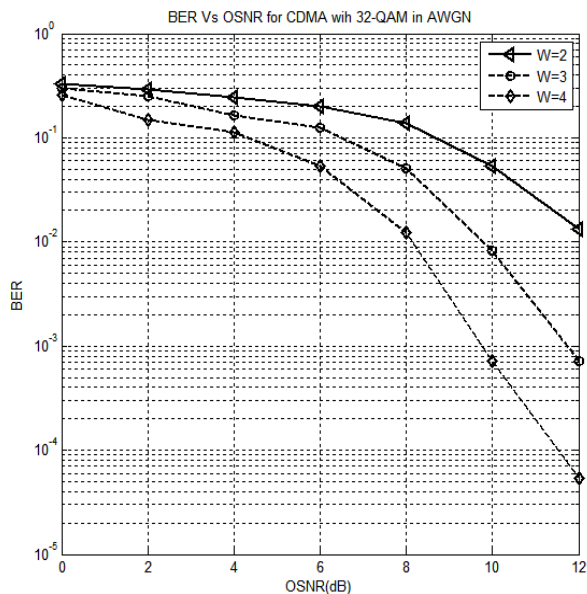
عملکرد CDMA به تنهایی در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده اند. شکل ۶ عملکرد مدولاسیون CDMA غیر همگام را برای کدهای OOC با طول ۲۵۶ و وزن ۲ و برای ۴ کاربر نشان می دهد. مانند قبل از 32-QAM استفاده شده است.

OFDM در شکل ۴ آمده است. در این شکل منحنی BER بر حسب SNR در حضور و عدم حضور پاشیدگی رنگی نشان داده شده است. در این شکل، با فرض اینکه عرض پالس ها از ۵ پیکوثانیه بیشتر باشد ( $T_0 > 5ps$ ), از معادله (۵) استفاده کردیم و با توجه به معادله (۵)  $\beta_2 = 20ps^2/km$  در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که در این شبیه سازی از 256 زیر حامل و مدولاسیون 32-QAM استفاده شده است. همانطور که از شکل ۴ مشاهده می شود، اثرات خطی فیبر نوری عملکرد سیستم را نسبت به حالتیکه تنها نویز را در نظر گرفته ایم، مخصوصا در SNR های بالا تحت تاثیر قرار می دهد و این بدلیل آنست که در نویزهای کم، پاشیدگی عامل مخرب غالب است.



شکل ۴- تاثیر پارامترهای خطی فیبر نوری علاوه بر نویز گیرنده بر OFDM همدوس.

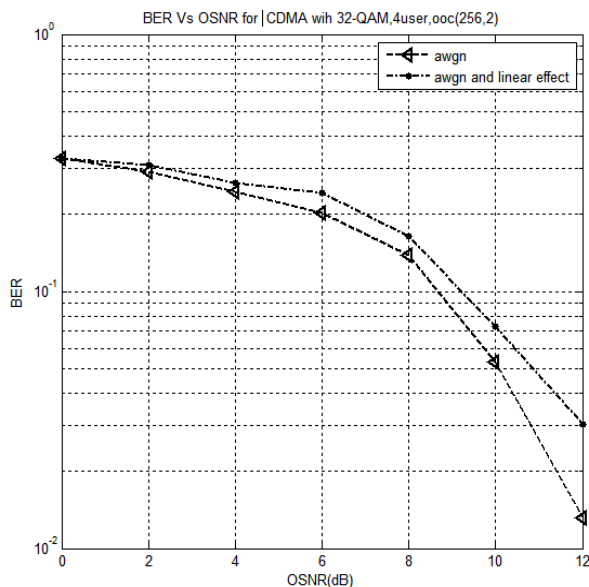
در شکل ۵ اثر افزایش تعداد زیر کانالها را نشان داده می شود. همانطور که از این شکل مشاهده می شود، با افزایش تعداد زیرکانالها (زیر حامل ها)



شکل ۷- اثر تغییر وزن کد بر عملکرد مدولاسیون CDMA در فیبر نوری.

استفاده می شود. لازم به ذکر است که تا کنون ترکیب این نوع مدولاسیون ها در بسیاری از کاربردها از جمله مخابرات نوری فضای آزاد و مخابرات بی سیم نوری و همچنین در کاربردهای الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳-۱۵] ولی برای اولین بار در این مقاله ما برای فیبر نوری مورد بررسی قرار می دهیم. شکل ۸ عملکرد MC-CDMA را برای کدهای OOC با طول ۲۵۶ و وزن ۲ و برای ۴ کاربر نشان می دهد. مانند قبل از 32-QAM استفاده شده است. همچنین شبیه حالت های قبل اثرات خطی فیبر نوری را هم علاوه بر نویز لحاظ کرده ایم.

همانطور که مشاهده می شود در SNR های بالا عملکرد سیستم بیشتر تحت تاثیر قرار می گیرد و این بدلیل آنست که در نویزهای کم، پاشیدگی عامل مخرب غالب است.



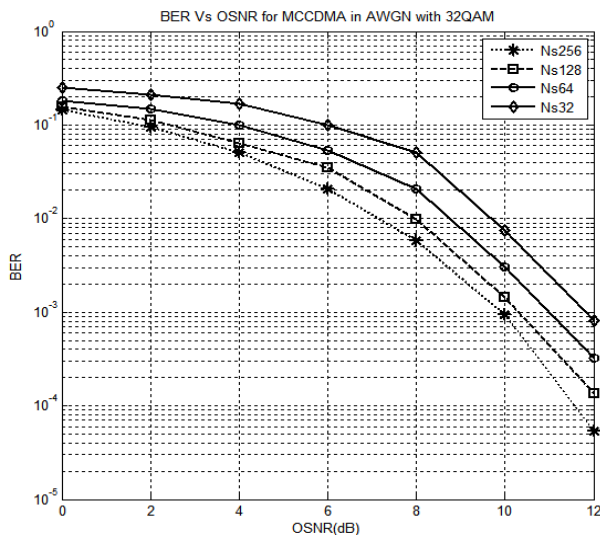
شکل ۶- تاثیر پارامترهای خطی فیبر نوری و نویز گیرنده بر

CDMA

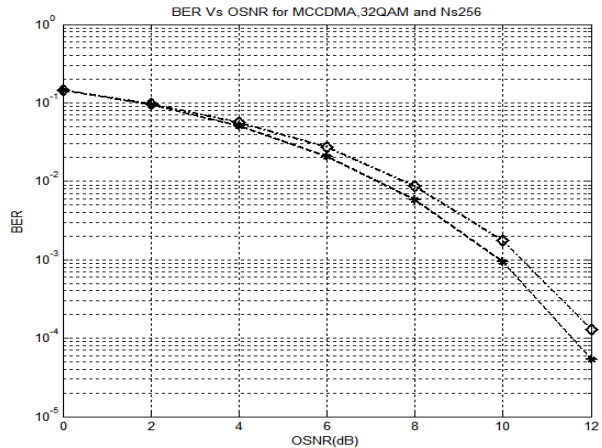
در شکل ۷ با فرض اینکه نرخ بیت و پهنای باند ثابت باشد، اثر تغییر وزن کد ( $W$ ) را بر مدولاسیون CDMA در فیبر بررسی می کنیم. در این شکل اثر تغییر وزن کد بر روی CDMA در فیبر نشان داده می شود. همانطور که می بینیم، افزایش وزن کد، به دلیل افزایش توان ارسالی، باعث افزایش عملکرد سیستم می شود. عملکرد ترکیب OFDM و CDMA را در فیبر نوری به منظور افزایش بهره عرض باند مورد ارزیابی قرار دهیم و نتایج را با OFDM و CDMA مقایسه می کنیم. در واقع در این روش هم از دایورسیتی کد و هم از دایورسیتی فرکانس

بعدی بر روی سمبل قبل بسیار کمتر می‌شود. برای نشان دادن تاثیر افزایش تعداد زیر حامل‌ها بر بهبود عملکرد، تعداد کاربران را ثابت در نظر گرفته و تعداد زیر حامل‌ها را افزایش می‌دهیم. در شکل ۱۰ این موضوع نشان داده شده است.

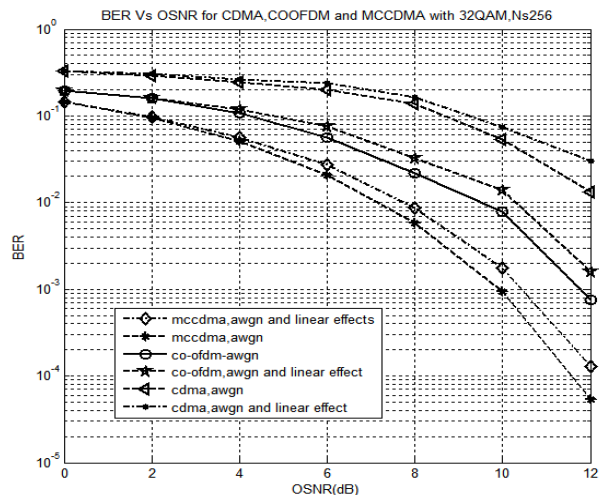
شکل ۱۱ اثر مرتبه‌های مختلف مدولاسیون QAM را برای MC-CDMA نشان می‌دهد. همانطور که می‌دانیم با افزایش مرتبه مدولاسیون QAM، تعداد بیت‌های مربوط به هر سمبل افزایش می‌یابد. با فرض اینکه توان متوسط ارسالی یکسان باشد، با افزایش تعداد بیت‌های مربوط به هر سمبل، فاصله اقلیدسی بین سمبل‌ها کاهش می‌یابد که منجر به افزایش احتمال خطا می‌شود.



شکل ۱۰- تاثیر افزایش تعداد زیر حامل‌ها بر MC-CDMA در فیبر نوری.



شکل ۸- تاثیر پارامترهای خطی و نویز گیرنده بر MC-CDMA. شکل ۹ مقایسه‌ای را بین ترکیب دو مدولاسیون و هر یک از آنها نشان می‌دهد.

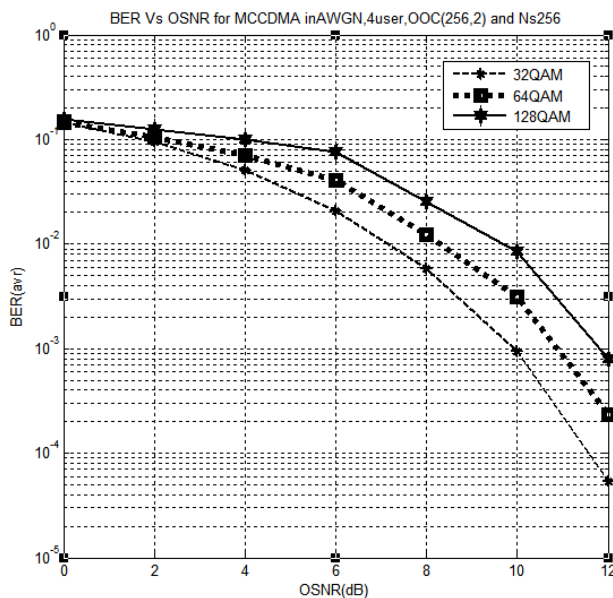


شکل ۹- مقایسه عملکرد MC-CDMA با CDMA و OFDM هم‌دوس در حضور نویز و عوامل خطی فیبر نوری. همانطور که نتایج شبیه‌سازی در شکل ۹ نشان می‌دهد عملکرد ترکیبی مدولاسیون از تک تک آنها بهتر است.

مانند OFDM هم‌دوس، در MC-CDMA نیز با افزایش تعداد زیر کانال‌ها اثر تداخل بین سمبلی یا همان ISI کاهش پیدا می‌کند زیرا دوره سمبل در هر زیر کانال افزایش یافته و بسیار بیشتر از گستره تاخیر کانال می‌شود که در نتیجه اثر تداخلی سمبل



- [4] Fazel, K. and S. Kaiser, *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems*, John Wiley, 2003.
- [5] Shieh, W. and C. Athaudage, *Coherent optical orthogonal frequency division multiplexing*, Electronics Letters, p. 587-589, 2006.
- [6] Kumar, S., *Impact of Nonlinearities on Fiber Optic Communications*, Springer, Vol. 7. 2011.
- [7] Shieh, W. and I. Djordjevic, *OFDM for optical communications*, Academic Press, 2009.
- [8] Armstrong, J. and B. Schmidt, *Comparison of asymmetrically clipped optical OFDM and DC-biased optical OFDM in AWGN*, Communications Letters, IEEE, p. 343-345, 2008.
- [9] Mehedy, L., et al., *OFDM versus single carrier towards spectrally efficient 100 Gb/s transmission with direct detection*, Optical Communications and Networking, IEEE/OSA Journal of, p 779-789, 2012.
- [10] Ni, B. and J.S. Lehnert, *Performance of an incoherent temporal-spreading OCDMA system with broadband light sources*, Journal of lightwave technology, p. 2206, 2005.
- [11] Ramos, B., *Optical CDMA transmission system simulations*, in Autonomous University of Madrid, 2010.
- [12] Salehi, J.A., *Code division multiple-access techniques in optical fiber networks. I. Fundamental principles*. Communications, IEEE Transactions on, p. 824-833, 1989.
- [13] Choubey, R., R. Mohan, and S. Sharma, *Performance Analysis of Generalized MC DS-CDMA System*, International Journal of Advanced Computer Research, 2013.
- [14] Alsaadi, F.E. and J. Elmirghani, *MC-CDMA Indoor Optical Wireless System*,



شکل ۱۱- تاثیر افزایش مرتبه مدولاسیون QAM بر عملکرد MC-CDMA در فیبر نوری در حضور نویز.

## ۸- نتیجه گیری

در این مقاله به منظور افزایش بهره عرض باند، یک روش ترکیبی برای مخابرات فیبر نوری معرفی شد. عملکرد این مدولاسیون در حضور AWGN و پاشیدگی رنگی فیبر نوری به ازای پارامترهای مختلف تعداد زیرحامل ها، تنوع مدولاسیون و وزن کد مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج بررسی ها و شبیه سازی ارجحیت این مدولاسیون ترکیبی را بر مدولاسیون CDMA و OFDM نشان می دهد.

## مراجع

- [1] Agrawal, G.P., *Nonlinear fiber optics*, Academic press, 2007.
- [2] Agrawal, G., *Applications of nonlinear fiber optics*, Academic press, 2001.
- [3] Palais, J.C., *Fiber optic communications*, Prentice Hall Englewood Cliffs, 2004.

*communications with IM/DD*, EURASIP  
Journal on Wireless Communications  
and Networking, p. 1-14, 2013.

in *Global Telecommunications  
Conference, 2007*.  
[15] Farooqui, M.Z. and P. Saengudomlert,  
*Transmit power reduction through  
subcarrier selection for MC-CDMA-  
based indoor optical wireless*

## **Performance Evaluation of Multi-Carrier CDMA in the Presence of AWGN and dispersion of Optical Fiber**

### **Abstract**

The tremendous growth of Internet, both in terms of the number of users and the usage time, and thus bandwidth taken by each user, is a major factor that has made the need of optical telecommunication networks and modulations with high spectrum efficiency undeniable. In this paper, the performance of each modulation CDMA, OFDM can be individually investigated and simulated. The combination between OFDM and CDMA systems to achieve better spectrum efficiency in optical fiber is proposed and its performance in the presence of AWGN and dispersion is simulated. The OOC codes are used to assign to the user and the receiver is a PIN detector. The simulation results are compared in different situations and combinations of the two modulation methods.

**Keywords:** OFDM, CDMA, MCCDMA, OOC