

کاهش PAPR با استفاده از تکنیک‌های پیش‌کدگذاری و کامپندینگ برای سیستم‌های OFDM

بهروز قدیمی^۱، حسین مؤمن زاده حقیقی^۲، علیرضا ملاح زاده^۳

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بوشهر؛ گروه مهندسی برق، بوشهر، ایران، behroz.ghadimi67@gmail.com

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بوشهر؛ گروه مهندسی برق، بوشهر، ایران، momen-zadeh.hossein@gmail.com

۳- استادیار، موسسه آموزش عالی زند دانش گستر، شیراز، ایران، malahzad@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۸

چکیده

در سال‌های اخیر نیاز به انتقال قابل اطمینان داده‌های دیجیتال رو به افزایش است و گسترش شبکه‌های اطلاعاتی با سرعت بالا و شبکه‌های بیسیم در زمینه تجاری دولتی و شخصی باعث گردید که این امر مورد توجه قرار گیرد. OFDM از مدولاسیون‌های چند حاملی و متشکل از چند ساب‌کاریر می‌باشد که به صورت عمود بر هم مدوله شده‌اند. از معایب مدولاسیون‌های چند حاملی نظیر OFDM، بزرگ بودن نسبت پیک به توان متوسط یا PAPR در سیگنال خروجی فرستنده می‌باشد. بزرگ بودن PAPR سیگنال ارسالی، باعث می‌شود تا تقویت‌کننده‌های با محدوده عملکرد خطی وسیع‌تری لازم شود که به صرفه نیست و اگر از تقویت‌کننده‌های توان با ناحیه عملکرد خطی کم استفاده شود باعث اعوجاج داخل باند و تشعشع خارج از باند سیگنال ارسالی می‌شود. بنابر این در این مقاله از دو تکنیک پیش‌کدینگ و کامپندینگ قانون μ برای کاهش PAPR استفاده می‌شود. مطالعات بیشتری با استفاده از روش‌های مختلف مدولاسیون و تعداد زیرحامل‌های متفاوت انجام شده است. کاهش قابل ملاحظه در مقادیر PAPR با استفاده از این روش‌های حاصل شده است. و کارایی این روشها با یکدیگر مقایسه شده است.

کلیدواژه: OFDM، PAPR، پیش‌کدگذاری، کامپندینگ

۱- مقدمه

کنار تمامی این مزیت‌ها، سیستم‌های OFDM دارای چندین چالش نیز می‌باشند مثلاً، تداخل بین سمبل داخلی در باندهای محافظ چندمسیره، نسبت پیک به توان متوسط (PAPR) بالا و غیره، اما مهم‌ترین این چالش‌ها، PAPR می‌باشد. این نسبت پیک به مقدار متوسط توان سبب افزایش مقدار پیک سیگنال‌هایی می‌شود که به عنوان ورودی تقویت‌کننده‌های توان بالا (HPA) در فرستنده‌ها وجود دارند. در نتیجه، HPA ها در ناحیه غیرخطی عمل کرده که باعث اعوجاج غیرخطی می‌گردد. این اعوجاج‌ها هم باعث افزایش تداخل‌های درون باندهای و هم برون باندهای خواهند شد. از این رو، به منظور کاهش پیچیدگی HPA، کاهش هزینه و بهبود عملکرد انتقال، کاهش PAPR ضروری است.

افزایش تقاضا برای سیستم‌های بی‌سیم با سرعت‌های انتقال داده بالا و راندمان و قابلیت اطمینان محسوس، به طراحی سیستم‌هایی با ویژگی‌های بهتر برای ارتباطات سیار، ثابت و نسل بعدی مخابرات، منجر شده است. تقسیم فرکانس متعامد (OFDM) تمام این قابلیت‌ها را برای استفاده در انتقال داده با سرعت بالا، دارا می‌باشد. OFDM در اصل بر اساس قاعده تقسیم کردن جریان داده‌های سرعت بالا به چندین جریان داده با سرعت پایین که به صورت هم‌زمان با هم و با تعداد زیر حامل‌های برابر ارسال می‌شوند، عمل می‌کند. تمامی این زیرحامل‌ها با باند محافظ همپوشانی کرده و باعث حذف تداخل‌های بین سمبل (ISI) و افزایش بازدهی می‌گردد. در

کاهش PAPR با استفاده از تکنیک های پیش کدگذاری ...

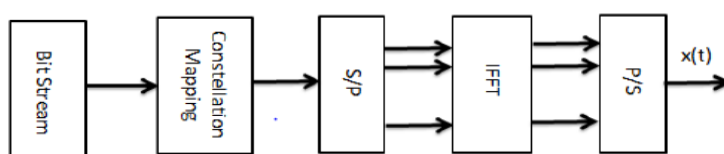
کامپندینگ و در ادامه نیز طرح کاهش PAPR در بخش چهارم مورد مطالعه قرار می گیرد. در بخش پنجم نتایج شبیه سازی و در بخش ششم نیز بحث و نتیجه گیری ارائه می شود.

۲- مدل سیستم

یک سیگنال OFDM در واقع یک طرح است که با کمک کدگذاری شیفت فاز (PSK) و یا مدولاسیون دامنه تریبیعی (QAM) نگاشت شده است. در OFDM، یک بلوک متشکل از N سمبل، روی N زیرحامل موازی ارسال می شود. مدولاسیون OFDM با کمک IFFT انجام می شود. فرم مختلط سیگنال OFDM به صورت زیر به دست می آید:

(۱)

در گیرنده، برعکس فرستنده، داده به شکل موازی تبدیل شده و تبدیل سریع فوریه (FFT) روی آن اعمال می شود. سپس جریان داده موازی به جریان داده سری تبدیل شده که به عنوان داده خروجی در نظر گرفته می شود. تابع کلی سیستم OFDM در شکل ۱ توصیف شده است.



شکل ۱. بلوک دیاگرام سیستم OFDM

(CCDF) مورد بررسی قرار گرفته است که این تابع در واقع نشان دهنده احتمال گستردگی PAPR روی یک مقدار آستانه تعریف شده است. CCDF به صورت زیر تعریف می شود:

$$CCDF = \text{Probability}(PAPR > PAPR_0) \quad (3)$$

که $PAPR_0$ مقدار آستانه است.

روش های مختلفی برای کاهش PAPR در مقالات پیشنهاد شده است. روش های اسکرمبلینگ سیگنال [۱] مورد استفاده قرار گرفته است که شامل کدگذاری بلوک، نگاشت انتخابی، ترتیب انتقال جزئی و ارسال و دریافت صدا و غیره می شود. اما با این روش ها، تنها کاهش ظاهری در مقادیر PAPR حاصل می شود. روش های دیگری از قبیل کوتاه سازی سیگنال و همچنین پنجره سازی نیز در [۵] و [۲] وجود دارد. تحقیقات دیگری نیز از FrFT (تبدیل فوریه سریع) مبتنی بر تبدیل چیرپ برای کاهش PAPR استفاده کرده اند [۶] و [۷]. به منظور حل مشکلات فوق پیرامون تکنیک های کاهش PAPR، طرح های پیشنهادی جدیدی از پیش کدگذاری و کامپندینگ ارائه شده است [۸] و [۱۲].

در این مقاله، ما روش پیش کدگذاری و کامپندینگ را به عنوان روشی برای کاهش مقادیر PAPR نظر می گیریم. برای پیش کدگذاری، یک ماتریس از پیش تعریف شده داده ها ضرب می شود، قبل از آنکه تبدیل فوریه اعمال شود. در کامپندینگ، سیگنال به ترتیب، در سمت فرستنده فشرده سازی و در سمت گیرنده گسترده سازی می شود.

ساختار این مقاله به صورت زیر می باشد: بخش دوم مدل سیستم را بررسی می کند، در بخش سوم پیش کدگذاری و

۲-۱- نسبت پیک به توان متوسط (PAPR)

مقدار PAPR برای یک سیگنال OFDM مثل $x[n]$ به صورت نسبت مقدار ماکزیمم توان سیگنال به مقدار متوسط توان سیگنال تعریف می شود:

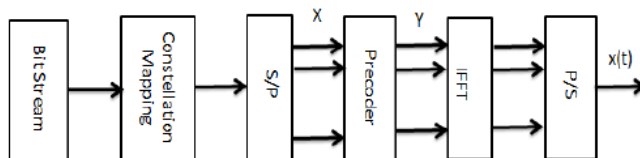
$$P \quad (2)$$

کاهش PAPR با استفاده از تابع توزیع تجمعی مکمل

۳ - تکنیک‌های کاهش PAPR

۳-۱ - تکنیک پیش‌کدگذاری

طرح پیش‌کدگذاری که از پیش‌کدگذار برای کاهش PAPR



شکل ۲. بلوک دیاگرام سیستم OFDM پیش‌کدگذاری شده

(۷) پیش‌کدگذار از یک ماتریس پیش‌کدگذاری با ابعاد $L*N$

P

استفاده می‌کند که به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۴)

P

=

که در آن:

N : تعداد سیگنال‌های مدوله‌شده باند اصلی

L : تعداد کل زیرحامل‌ها

N_p : زیرحامل‌های کران بالا به‌گونه‌ای که $0 \leq N_p < N$

زمانی که پیش‌کدگذاری مورد استفاده قرار نگیرد، ماتریس P

به ابعاد $N*N$ کاهش می‌یابد. وقتی که یک بردار ورودی مثل

X در ماتریس پیش‌کدگذاری ضرب می‌شود، داریم:

(۵)

Y

ماتریس پیش‌کدینگ از روی تبدیل‌های متفاوت می‌توان

بدست آورد. تبدیل‌های نظیر DCT و DFT بسته به نوع میان

گذر بودن و پایین گذر بودن یا مختلط استفاده می‌شود. زیرا

نوع سیگنال دارای اطلاعات دامنه و فاز می‌باشد. تبدیل DFT

برای آن مناسب است و رابطه آن بصورت زیر می‌باشد که در

این رابطه، ماتریس پیش‌کدگذاری پیشنهادی دارای درایه‌هایی

به صورت زیر می‌باشد

P

(۶)

که در آن:

(۷)

استفاده می‌کند، در واقع یک پروسه از پیش تعریف شده است

که معکوس تبدیل فوریه می‌باشد، همانند شکل ۲:

برای کاهش قابل‌ملاحظه در PAPR، متغیر کران بالای β

افزایش می‌یابد که خود این متغیر به صورت زیر تعریف

می‌شود:

(۸) β

چنانچه ماتریس پیش‌کدگذار عوض شود. در مرجعه [۱۳]

مشخص شده است که منحنی BER تغییر می‌یابد.

۳-۲ تکنیک کامپندینگ

کامپندینگ تکنیکی است برای کاهش PAPR در سیگنال‌های

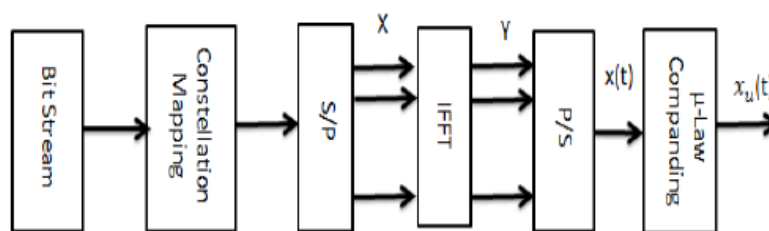
OFDM که با کاهش پیچیدگی بدون در نظر گرفتن تعداد

زیرحامل‌ها همراه است. در OFDM، ابتدا بعد از IFFT،

عمل فشرده‌سازی در سمت فرستنده انجام شده و در سمت

گیرنده نیز عمل گسترده‌سازی و بعد از آن FFT صورت

می‌گیرد، همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. بلوک دیاگرام سیستم OFDM کامپند شده

۴-۱ طرح پیش کدگذاری

در تکنیک پیش کدگذاری به عنوان طرحی برای کاهش PAPR، بردار P با استفاده از ماتریس پیش کدگذاری در روابط (۴) و (۵) قابل محاسبه است و نگاشت سیگنال روی IFFT با N نقطه و $N-L$ نقطه صفر مکمل، به صورت زیر قابل بیان است:

$$(11)$$

P

پس از اعمال IFFT (تبدیل سریع فوریه معکوس) روی رابطه (۱۱)، سیگنال مختلط در حوزه زمان به صورت زیر حاصل می شود:

$$(12)$$

x

که در آن:

$$f_n = n\Delta f$$

$$\Delta f = 1/T$$

T : مدت زمان سمبل OFDM

۴-۲ طرح کامپندینگ

به صورت مشابه، تکنیک کامپندینگ قانون μ با استفاده از رابطه (۹) به کار می رود. سمبل OFDM بعد از IFFT با N نقطه در حوزه زمان عبارت است از:

$$(13)$$

x

در کامپندینگ قانون μ ، دامنه های سیگنال های کوچک افزایش می یابد در حالی که مقدار پیک آن ها بدون تغییر باقی می ماند. در نتیجه مقدار متوسط توان افزایش یافته و PAPR کاهش خواهد یافت. عمل فشرده سازی قانون μ در سمت فرستنده به صورت زیر است:

$$(9)$$

y

که در آن، μ بیانگر فاکتور کامپندینگ است که میزان فشرده سازی را کنترل می کند، v مقدار پیک دامنه x و sgn نیز تابع علامت است. گسترده سازی قانون μ در سمت گیرنده به صورت زیر است:

$$(10)$$

z

حد فشرده سازی و گسترده سازی سیگنال به مقدار فاکتور μ بستگی دارد که عددی است بین (1, 255). با این وجود، کاهش PAPR به کمک کامپندینگ قانون μ سبب افزایش BER خواهد شد.

۴ تکنیک های پیشنهادی

به منظور مقایسه دو تکنیک کاهش PAPR ارائه شده، سمبل ها و داده ها بر اساس هر دو تکنیک پردازش می شوند. فرض کنید M ، داده ای باشد که روی K زیرحامل مدوله شده است. M ، پس از نگاشت طرح سیگنال به صورت زیر قابل تعریف است:

$$M = [m_0, m_1, \dots, m_{K-1}]$$

۵- نتایج شبیه‌سازی

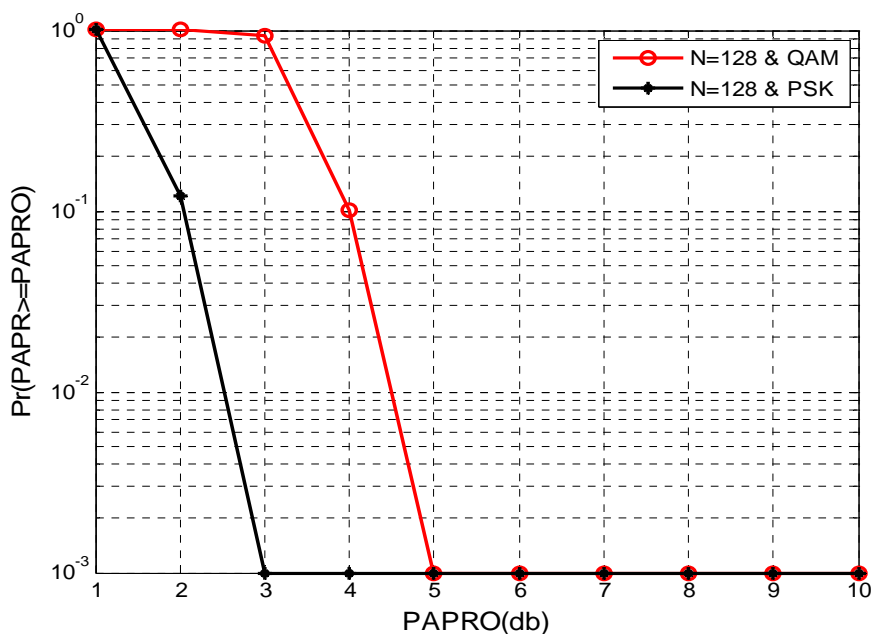
پارامترهای مختلفی برای مقایسه در نظر گرفته شده است از جمله تکنیک‌های مدولاسیون، تعداد کانال‌ها، فاکتور کامپندینگ و قانون‌های مختلف. که جریان داده با استفاده از مدولاسیون‌های PSK و QAM و بر اساس روند شکل ۱ و با IFFT شامل $N=64$ نقطه، تولید شده است. تعداد زیر حامل‌ها به صورت $K=128$ و $K=256$ انتخاب شده است.

با استفاده از رابطه (۱۳)، سیگنال کامپند شده بر اساس رابطه

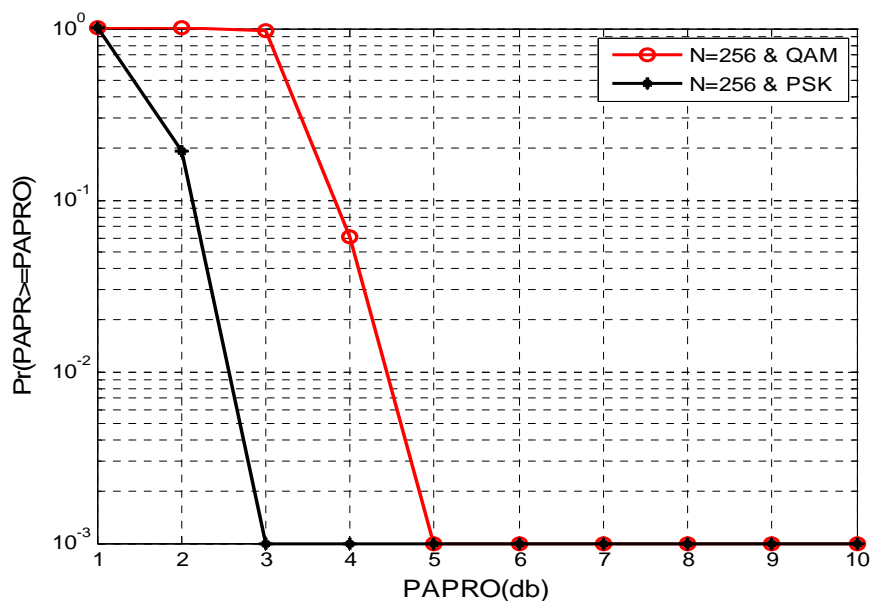
(۹)، برابر است با:

$$(14)$$

$$x_u(t) = \frac{L_n}{L_n}$$



شکل ۴. مقایسه بین مدولاسیون‌های PSK و QAM با $M=16$ و $N=128$ برای پیش‌کدگذاری در OFDM

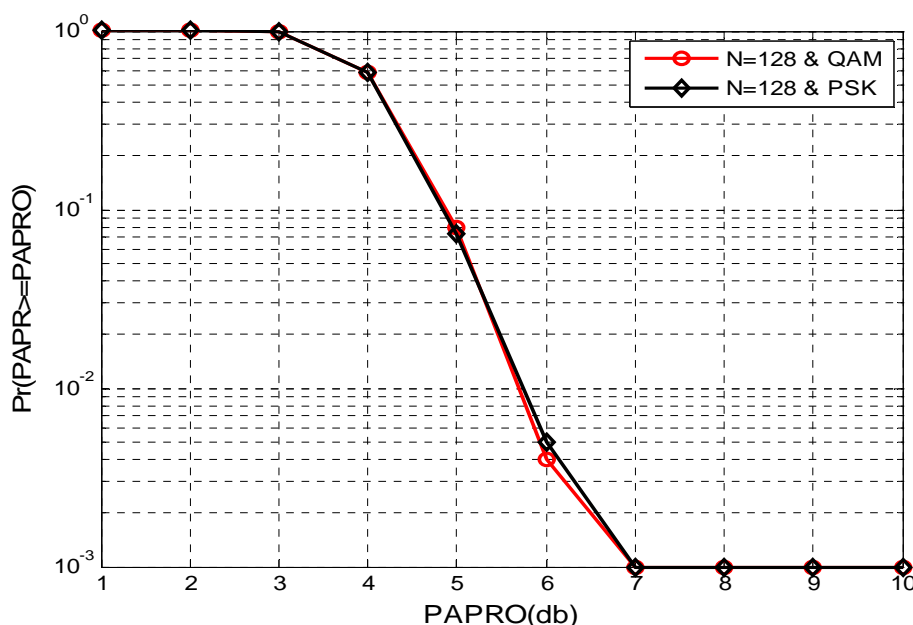


شکل ۵. مقایسه بین مدولاسیون‌های PSK و QAM با $M=16$ و $N=256$ برای پیش‌کدگذاری در OFDM

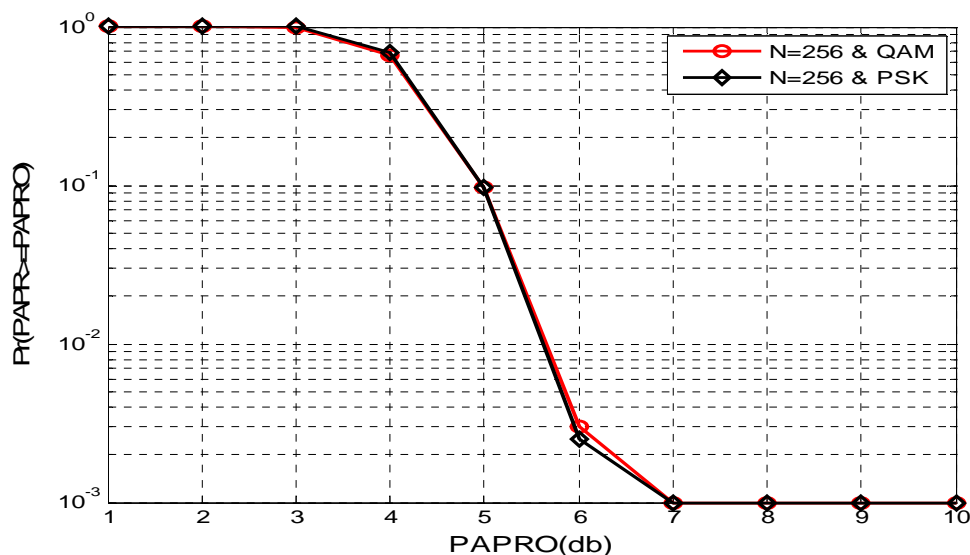
کاهش PAPR با استفاده از تکنیک های پیش کدگذاری ...

تعداد کانالها روی تکنیک کاهش PAPR بی تأثیر است. می توان به راحتی نتیجه گرفت که مدولاسیون 16-PSK برای پیش کدگذاری به عنوان تکنیک کاهش PAPR، بهتر است.

با توجه به شکل های بالا استفاده از پیش کدگذاری در سیستم OFDM، کاهش 7dB و 5dB در مقدار PAPR را به ترتیب برای تکنیک های مدولاسیون PSK و QAM به دنبال داشته است. این نمودارها همچنین نشان می دهند که تغییرات



شکل ۶. مقایسه بین مدولاسیون های QAM و PSK با $N=128$ و $M=16$ برای کامپندینگ در OFDM



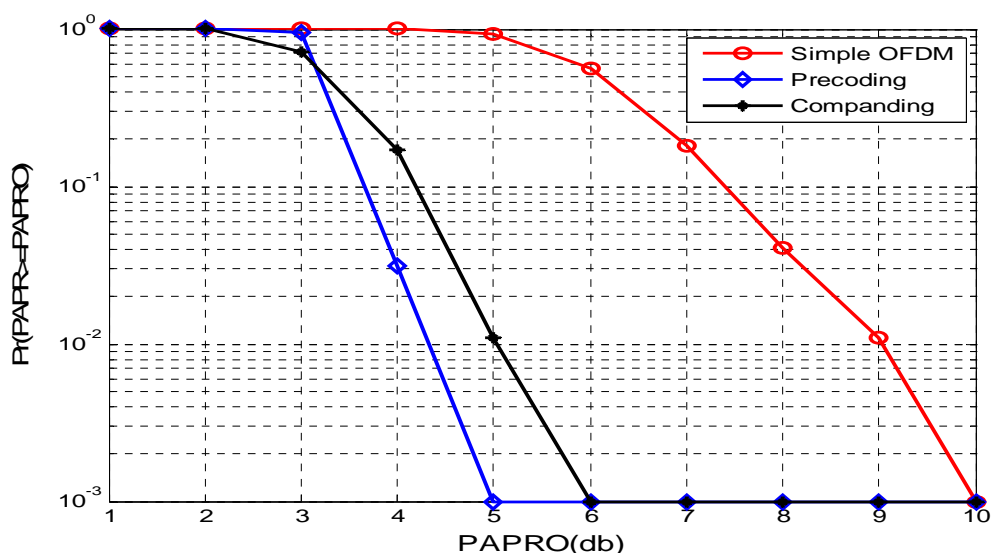
شکل ۷. مقایسه بین مدولاسیون های QAM و PSK با $N=256$ و $M=16$ برای کامپندینگ در OFDM

نمودارها همچنین نشان می دهند که تغییرات تعداد کانالها روی تکنیک کاهش بی تأثیر است. همچنین می توان گفت که هم مدولاسیون 16-PSK و هم 16-QAM برای کامپندینگ به

با توجه به شکل های بالا، استفاده از کامپندینگ در سیستم OFDM سبب کاهش 3dB در مقدار PAPR، به ترتیب برای تکنیک های مدولاسیون PSK و QAM می شود. این

یکدیگر مقایسه شده‌اند. به‌منظور این مقایسه منحنی PAPR در دو حالت استفاده از دو روش ذکر شده به همراه منحنی رفتار PAPR در سیگنال معمولی OFDM در کنار یکدیگر رسم شده‌اند.

عنوان تکنیک کاهش PAPR، نتایج یکسانی دارند. به منظور مقایسه هر چه بهتر این دو روش پیش‌کدینگ و کامپندینگ، هر دو روش کاهش PAPR با استفاده از فشردگی μ -law و پیش‌کدینگ به همراه سیگنال نرمال OFDM با



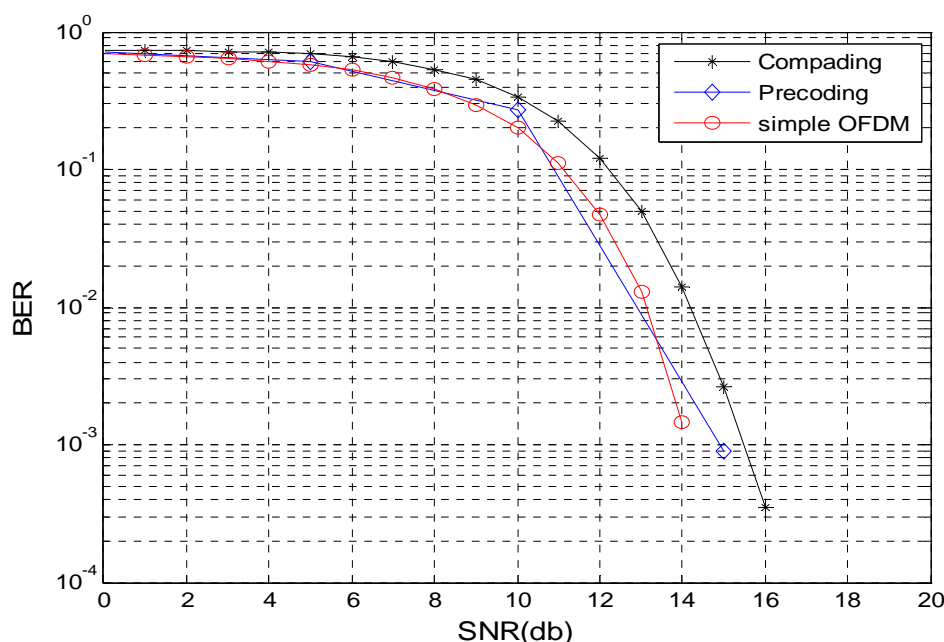
شکل ۸. مقایسه بین PAPR برای OFDM ساده و پیش‌کدگذاری و کامپندینگ به عنوان تکنیک کاهش

نتایج مشابهی را نشان می‌دهند که به ترتیب با کاهش 5dB و 4dB همراه است. جدول زیر میزان کاهش PAPR را مشخص کرده است.

در نهایت در شکل ۸، مقایسه‌ای برای OFDM ساده، بین تکنیک پیش‌کدگذاری و تکنیک کامپندینگ از نظر کاهش PAPR صورت گرفته است. پیش‌کدگذاری و کامپندینگ

جدول ۱. نتایج SNR روش پیش‌کدینگ و کامپندینگ

S.NO	DIFFERENT SYSTEM	SNR(db)
1	OFDM	10
2	Companding	6
3	Precoding	5



شکل ۹. مقایسه بین نمودار BER بر حسب SNR برای OFDM ساده و پیش کدگذاری و کامپندینگ به عنوان تکنیک کاهش

تکنیک کامپندینگ از نظر کاهش PAPR، صورت گرفته است. پیش کدگذاری و کامپندینگ که به ترتیب با کاهش 5dB و 4dB همراه است.

منابع

- [1] Choe, K. D and Kim, S. C and Park, S. K "Pre-Scrambling Method for PAPR Reduction in OFDM Communication Systems", IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 50, No. 4, November 2004.
- [2] Sengar, S and Bhattacharya, P. P "Performance Improvement in OFDM System by PAPR Reduction", Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ) vol.3, No.2, April 2012.
- [3] Chauhan, M and Patel, S and Patel, H "Different Techniques to Reduce the PAPR in OFDM System," International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) vol. 2, Issue 3, pp.1292-1294, May-Jun 2012.
- [4] Chauhan, M and Chobey, A "PAPR Reduction in OFDM system Using Tone Reservation Technique," International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE) vol. 2, Issue 4, August

استفاده از روش های کاهش PAPR، موجب کاهش پیک سیگنال و در نتیجه بهبود مقدار PAPR می شوند ولی از طرفی دیگر به دلیل برهم زدن تعامد بین نمونه ها، خود موجب تخریب سیگنال و در نتیجه در منحنی BER تأثیر نامطلوبی به جا می گذارند. در اینجا با مقایسه منحنی BER سیگنال OFDM در حالت عادی و در حالت استفاده از روش های کاهش PAPR پرداخته است. که براساس این مقایسات، هر دو روش باعث تخریب منحنی BER می گردند، اما روش پیش کدینگ تأثیر مطلوب تری را به وجود می آورد.

۶- نتیجه گیری

این مقاله، تکنیک هایی را برای کاهش PAPR در انتقالات OFDM، طرح ریزی و مقایسه کرده است. تکنیک پیش کدگذاری طرح ریزی شده در واقع یک بلوک مستقل از داده است که بیشتر مبتنی بر بهینه سازی می باشد و تکنیک کامپندینگ نیز سیگنال را به منظور حذف اعوجاج دامنه، فشرده سازی می کند. نتایج حاصل نشان می دهد که هر تکنیک، مقدار PAPR را به طرز قابل ملاحظه ای کاهش می دهد، مقایسه ای برای OFDM ساده، بین تکنیک پیش کدگذاری و

Communications Letters, vol. 14, no. 4, pp. 282–284, April 2010.

[12] Abdullah, Md. I and Mahmud, Md. Z and Hossain, Md. S and Islam, Md. N “Comparative Study of PAPR Reduction Techniques in OFDM,” ARPJ Journal of Systems and Software, vol. 1, NO. 8, November 2011.

[13] Elavarasan, P and Dr. Nagarajan, G and Narayanan, A “PAPR Reduction in MIMO-OFDM Systems using Joint Channel Estimation and Precoding”, International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT), vol. 3, Issue 1, January 2012.

[14] Wang, Z “Combined DCT and Companding for PAPR Reduction in OFDM Signals”, Journal of Signal and Information Processing, vol. 2, pp. 100-104, 2011.

[15] Jiang, Tao and Yang, Yang and Song, Yong-Hua “Companding Technique for PAPR Reduction in OFDM Systems Based on An Exponential Function”, IEEE GLOBECOM 2005.

[16] Deepa, T, Kumar R, “Performance Analysis of μ -law Companding & SQRT Techniques for M-QAM OFDM systems”, IEEE International Conference on Emerging Trends in Computing, Communication and Nanotechnology (ICECCN) 2013.

2012.

[5] Xie, D and Yang, S and Qi, L and Mu, X “PAPR Reduction Of FrFT-Based MB-OFDM Ultra Wide Band Signals”, IEEE 2008.

[6] Rezgui, C and Jarboui, S and Grayaa, K “A PAPR reduction technique based on Golay sequences and Fractional Fourier Transform for OFDM Systems”, IEEE 2012.

[7] Elavarasan, P and Nagarajan, Dr. G and Narayanan, A. “PAPR Reduction in MIMO-OFDM Systems using Joint Channel Estimation and Precoding”, IEEE International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT) 2012.

[8] Slimane, S.B “Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of OFDM Signals Through Precoding”, IEEE Transactions on Vehicular Technology vol. 56, No. 2, March 2007.

[9] Hsu, C.Y. and Liao, H.C “PAPR Reduction Using the Combination of Precoding and μ -Law Companding Techniques for OFDM Systems, ICSP 2012.

[10] Wang, X and Tjhung, T. T and Ng, C. S “Reduction of peak-to-average power ratio of OFDM system using a companding technique,” IEEE Trans. Broadcast., vol. 45, no. 3, pp. 303-307, Sept. 1999.

[11] Jiang, Y. “New companding Transform for PAPR Reduction in OFDM,” IEEE