

کاهش PAPR در SLM بدون ارسال جداگانه اطلاعات جانبی با استفاده از روش LCG

میرجواد موسوی نیا^۱، دانشیار، صابر میمنت آبادی^۲، دانشجوی دکتری

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تبریز- تبریز- ایران - niya@tabrizu.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تبریز- تبریز- ایران - smeymanat@tabrizu.ac.ir

چکیده: یکی از ضعف‌های اصلی مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM) بالا بودن نسبت «توان پیک» به «میانگین توان» (PAPR) است. روش نگاشت انتخابی (SLM) یکی از مشهورترین روش‌های کاهش PAPR به شمار می‌رود. در این روش، فرستنده ناچار است به همراه بلوک داده اصلی، بیت‌هایی را تحت عنوان اطلاعات جانبی (SI) ارسال کند. بیت‌های اطلاعات جانبی باعث اشغال پهنای باند می‌گردند. به علاوه، اگر گیرنده نتواند بیت‌های SI را به‌طور صحیح کشف کند آنگاه کل بلوک داده دریافتی از بین می‌رود. در این مقاله، طرحی با استفاده از مولد تجانس خطی (LCG) ارائه داده می‌شود به‌طوری که اطلاعات جانبی به‌صورت آشکار ارسال نمی‌گردند. در این مقاله با انجام شبیه‌سازی یک سیستم OFDM که در آن از مدولاسیون ۱۶-QAM گردیده است نشان داده می‌شود که طرح پیشنهادی، از لحاظ کاهش PAPR، نرخ خطای بیت (BER) و احتمال کشف همراه با خطا (Pdf) عملکرد بسیار خوبی دارد.

واژه‌های کلیدی: مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM)، نسبت توان پیک به میانگین توان (PAPR)، نگاشت انتخابی (SLM).

PAPR Reduction without Explicit Side Information in Selected Mapping by Using LCG

M. J. Mousavi Niya¹, S. Meymanatabadi²

1, 2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran

Abstract: High peak-to-average-power ratio (PAPR) is a weakness of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM). Selected mapping (SLM) is one of the well-known techniques to reduce the PAPR. In this method, transmitter is obliged to send several bits named side information (SI). Such side information causes bandwidth efficiency to be decreased; in addition, incorrect detection of SI by receiver make whole data block be lost. In this paper, we propose a technique on the base of linear congruential generator (LCG) by which side information bits are not explicitly sent. We simulate our method for an OFDM system through the use of 16-QAM modulation. It is shown that our proposed scheme, from the view point of bit error rate (BER), probability of detection failure (Pdf) and PAPR reduction, performs very well.

Keywords: Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM), peak-to-average power ratio (PAPR), selected mapping.

تاریخ ارسال مقاله: ۹۱/۷/۳۰

تاریخ اصلاح مقاله: ۹۲/۶/۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۷/۸

نام نویسنده‌ی مسئول: صابر میمنت آبادی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران- تبریز- بلوار ۲۹ بهمن- دانشگاه تبریز- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

۱- مقدمه

طرح پیشنهادی، از لحاظ نرخ خطای بیت^۵، احتمال کشف همراه با خطا^۶ و کاهش PAPR، نتایج بسیار خوبی را ارائه می‌دهد.

ادامه این مقاله، شامل بخش‌های زیر است:

در بخش ۲، مولد LCG شرح داده می‌شود. در بخش ۳، طرح پیشنهادی توضیح داده می‌شود. ارزیابی عملکرد طرح پیشنهادی، در بخش ۴ ارائه می‌گردد. در پایان، نتیجه‌گیری از طرح پیشنهادی در بخش ۵ صورت می‌گیرد.

۲- معرفی الگوریتم LCG

یکی از راه‌های تولید دنباله‌های شبه‌تصادفی استفاده از روش LCG است. در این روش، مطابق با رابطه (۱)، از رابطه بازگشتی خطی برای تولید اعداد استفاده می‌شود [۱۷ و ۱۸]:

$$x_n = (ax_{n-1} + b) \bmod m, \quad n \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (1)$$

که در آن:

$$\begin{cases} m > 0 \\ 0 < a < m \\ 0 < b < m \\ 0 \leq x_0 < m \end{cases}$$

مقادیر a ، b و m و پارامترهای LCG می‌باشند و به‌صورت (a, b, m, x_0) نمایش داده می‌شوند. x_0 مقداری است که به آن بذر اولیه یا seed گفته می‌شود و x_n دنباله اعداد شبه‌تصادفی تولیدشده توسط LCG است. برای اینکه اعداد شبه تصادفی x_n دارای ماکزیمم پریود باشند، می‌بایست پارامترهای LCG به‌گونه‌ای طراحی گردند که این امر محقق گردد. از آن جایی که در این روش، مقدار تولیدشده قبلی، تنها عامل تعیین‌کننده مقدار بعدی می‌باشد بنابراین، ماکزیمم پریود دنباله تولیدشده، برابر با پیمانانه m است. شرط‌های لازم و کافی برای این که بتوان به ازای تمامی مقادیر ممکن seed، دنباله LCG با ماکزیمم پریود تولید شود، عبارت است از:

۱- مقدار b و m می‌بایست دو به دو نسبت به هم اول باشند.

۲- تمامی عامل‌های اول m ، عامل $a-1$ نیز باشند.

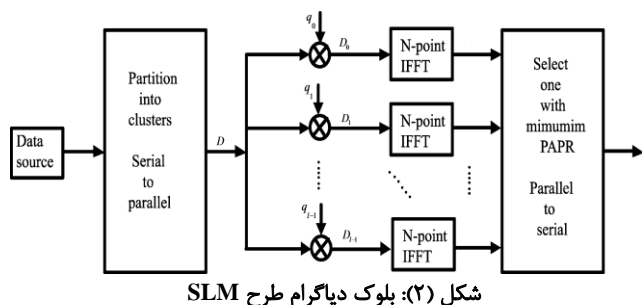
۳- اگر m مضرب ۴ است باید $a-1$ نیز مضرب ۴ باشد.

برای توضیح بیشتر، LCG با پارامترهای $a=7$ ، $b=5$ ، $m=18$ و $x_0=1$ را در نظر بگیرید. دنباله اعداد تولیدشده توسط این روش به‌صورت زیر است:

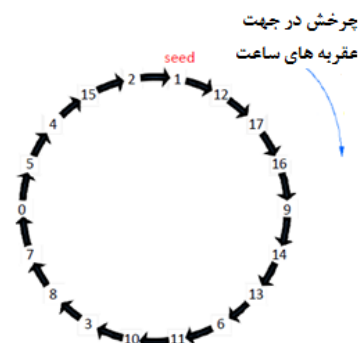
۵ ۰ ۷ ۸ ۳ ۱۰ ۱۱ ۶ ۱۳ ۱۴ ۹ ۱۶ ۱۷ ۱۲ ۱۱ ۱۲ ۱۷ ۱۶ ۹ ۱۴ ۱۳ ۶ ۱۱ ۱۰ ۳ ۸ ۷ ۰ ۵
۳ ... ۱۰ ۱۱ ۶ ۱۳ ۱۴ ۹ ۱۶ ۱۷ ۱۲ ۱ ۲ ۱۵ ۴

مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانسی متعامد^۱، یک تکنیک مدولاسیون چندحامله است که در بسیاری از استانداردها از جمله IEEE 802.11، IEEE 802.16، LTE و DVB استفاده می‌شود. یکی از چالش‌های اصلی OFDM این است که اندازه دامنه سیگنال خروجی در برخی نقاط بسیار زیاد خواهد شد. معیار عددی که برای نشان دادن این پدیده به کار می‌رود نسبت «توان پیک» به «میانگین توان» یا به اختصار PAPR است. PAPR بالا باعث می‌شود توان لحظه‌ای سیگنال ارسالی نسبت به میانگین توان، خیلی بالاتر باشد، در نتیجه تقویت‌کننده از ناحیه خطی عملکرد خود خارج می‌شود و سیگنال ارسالی را دچار اعوجاج می‌کند [۳-۱۱]. از آن جایی که استفاده از تقویت‌کننده‌های توان با ناحیه خطی بالا باعث صرف هزینه زیادی می‌گردد بنابراین، برای حل این مشکل از روش‌هایی که باعث بهبود سیگنال OFDM گردد استفاده می‌شود. تاکنون پژوهش‌های بسیاری در مورد رفع این مشکل انجام شده است [۱۰-۴] روش نگاشت انتخابی^۲ یکی از مشهورترین آن‌ها به شمار می‌رود، زیرا پیاده‌سازی این روش ساده است و هیچ اعوجاجی در سیگنال ارسالی ایجاد نمی‌کند. در این روش، بلوک داده اصلی در تعدادی دنباله فاز به‌صورت عنصر به عنصر ضرب می‌شود که در نتیجه آن، مجموعه‌ای از بلوک‌های داده تولید می‌شوند که تمامی آن‌ها بیانگر اطلاعات بلوک داده اصلی می‌باشند؛ سپس بلوک داده‌ای که دارای کمترین PAPR می‌باشد برای ارسال انتخاب می‌گردد [۱۱]. در SLM، تعدادی بیت اضافی که آن را اطلاعات جانبی^۳ می‌نامند و شاخص دنباله فاز ضرب شده می‌باشد، می‌بایست حتماً به همراه بلوک داده انتخابی، ارسال گردد تا گیرنده بتواند بلوک داده اصلی را بازیابی کند. از آن جایی که با گم شدن اطلاعات جانبی، تمامی بلوک اطلاعات از دست خواهد رفت بنابراین محافظت از اطلاعات جانبی، یکی از مسائل بحث برانگیز در این روش به شمار می‌رود. یکی از راه‌های محافظت از اطلاعات جانبی، استفاده از کدینگ قوی می‌باشد که این امر باعث پیچیدگی سیستم، افزایش تاخیر و کاهش نرخ ارسال می‌گردد. بنابراین، پیاده‌سازی SLM بدون ارسال اطلاعات جانبی، بسیار مهم است و به این منظور، روش‌های مختلفی پیشنهاد گردیده است [۱۶-۱۲].

در این مقاله، به‌منظور ارسال بلوک داده بدون بیت‌های اطلاعات جانبی در SLM، روشی پیشنهاد گردیده که در آن، از مولد تجانس خطی^۴ (LCG) استفاده شده است. ایده اصلی در روش پیشنهادی، عبارت از جای دادن اطلاعات جانبی در سمبل‌های ارسالی است که بر اساس آن، برخی از مکان‌های بلوک داده ارسالی وی یا به‌عبارت دیگر، تعدادی از سمبل‌های فریم ارسالی منبسط می‌شوند. در روش پیشنهادی، مکان‌های مربوط به سمبل‌های منبسط شده، بیانگر اطلاعات جانبی می‌باشند. به همین دلیل، در سمت گیرنده تلاش می‌گردد تا این مکان‌ها کشف گردند. در پایان نشان داده می‌شود که



شکل (۲): بلوک دیاگرام طرح SLM



شکل (۱): سیکل اعداد تصادفی تولیدشده توسط (۷, ۵, ۱۸, ۱) LCG

سیگنال OFDM متناظر، که با $I_l(t)$ نمایش داده می شود به صورت رابطه (۳) است:

$$I_l(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} d_{l,n} e^{j2\pi f_n t} f(t - \tau) \quad (3)$$

$$f(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t \leq \tau \\ 0 & t \leq 0 \quad t > \tau \end{cases}$$

که در آن τ ، بازه زمانی سیگنال OFDM را نشان می دهد، f_n عبارت از n امین فرکانس زیرحامل و $f(t)$ بیانگر بازه زمانی است. PAPR سیگنال OFDM، به صورت رابطه (۴) است:

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq t < \tau} |I_l(t)|^2}{E\{|I_l(t)|^2\}} \quad (4)$$

سیس از میان سیگنال های تولیدشده $I_l(t)$ ، سیگنال با کم ترین PAPR برای ارسال انتخاب می شود. در شکل (۲)، بلوک دیاگرام روش SLM نشان داده شده است. برای این که امکان بازیابی بلوک داده اصلی D ، در سمت گیرنده امکان پذیر گردد می بایست تعداد $\lceil \log_2^L \rceil$ بیت اطلاعات جانبی، توسط فرستنده ارسال گردد. بیت های اطلاعات جانبی بیانگر این هستند که از میان L بردار فاز، کدام یک انتخاب شده است.

در این مقاله برای کاهش PAPR در SLM بدون ارسال جداگانه اطلاعات جانبی، یک روش بر مبنای الگوریتم LCG پیشنهاد می گردد. در روش پیشنهادی، ابتدا دنباله اعداد شبه تصادفی با ماکزیمم پریود، توسط LCG تولید می شوند. سپس هر یک از اعداد تولیدشده، به شکل باینری با تعداد بیت $\gamma = \lceil \log_2^{m-1} + 1 \rceil$ تبدیل می گردند. در این مقاله، به دنباله تولیدشده توسط LCG که به شکل باینری تبدیل شده باشد $(BIN_LCG(a, b, m, x_0))$ گفته می شود. به عنوان مثال،

$$X = N / U = m \times \gamma = m \times \lceil \log_2^{m-1} + 1 \rceil \quad (5)$$

در شکل (۱)، سیکل اعداد تولیدشده توسط LCG (۷, ۵, ۱۸, ۱) نشان داده شده است. از آن جایی که پارامترهای انتخاب شده در این مثال، شرایط مذکور برای تولید دنباله با ماکزیمم پریود را دارا می باشند بنابراین، پریود اعداد تولیدشده، برابر با مقدار پیمانه یعنی ۱۸ است و اعداد تولیدشده از ۰ تا ۱۷ تولید می شوند. اگر هر کدام از اعداد در بازه [۰, ۱۷] به عنوان seed انتخاب شوند آنگاه دنباله تولیدشده مذکور، فقط شیفت داده می شود. به عبارت دیگر هر کدام از اعداد روی شکل (۱) می تواند به عنوان seed انتخاب گردد و با شروع از seed و در جهت چرخش عقربه های ساعت دنباله اعداد تولید می شود. بنابراین:

$$\text{تعداد seed های ممکن برای تولید دنباله LCG با ماکزیمم پریود} = m \quad (2)$$

به دلیل این که LCG ها دارای سرعت بالایی بوده و فضای حافظه کمی برای نگه داشتن حالت ها نیاز دارند بنابراین در بسیاری از کاربردها از روش LCG استفاده می شود. از این جا به بعد، هرگاه از دنباله LCG سخن گفته شود منظور، دنباله LCG با ماکزیمم پریود است.

۳- طرح پیشنهادی SLM

در این مقاله، برای بیان یک بردار G که متشکل از R مقدار اسکالر g_r ($r \in \{1, 2, \dots, R\}$) باشد، از نماد $G = g_r^{(R)}$ استفاده شده است.

۳-۱- طراحی فرستنده در طرح پیشنهادی

یک سیستم OFDM با N زیرحامل را فرض کنید که N سمبل داده مختلط d_n به طور هم زمان روی زیرحامل ها فرستاده می شوند؛ به علاوه، یک بلوک داده به صورت $D = d_n^{(N)}$ نمایش داده می شود. در سیستم SLM، داده اصلی به صورت عنصر به عنصر در L بردار فاز $Q_l = q_{l,n}^{(N)} = [q_{l,0}, q_{l,1}, \dots, q_{l,N-1}]$ ، $l \in \{0, 1, \dots, L-1\}$ ضرب می شود که در آن، Q_l از N عدد مختلط $q_{l,n}$ تشکیل شده است و $|q_{l,n}| = 1$ بیانگر قدرمطلق می باشد. بنابراین L بردار مختلف $D_l = d_{l,n}^{(N)}$ تولید می شوند که $d_{l,n} = q_{l,n} \cdot d_n$.

$x_0=0$	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0
$x_0=1$	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
$x_0=2$	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
$x_0=3$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
$x_0=4$	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1

شکل (۴): دنباله (x_0) و ۵ و ۳ و ۱) BIN_LCG که فرم باینری

$(x_0, 5, 3, 1)$ LCG است. همان گونه که از شکل مشخص است مقدار باینری متناظر با هر عدد در شکل (۳) دارای $\gamma = \lfloor \log_2^{5-1} + 1 \rfloor = 3$ بیت است در نتیجه طول هر دنباله $5 \times 3 = 15$ بیت است.

مرحله ۲

به ازای یک زیربردار مفروض $q_{l,x}^{(x)}$ ، قدر مطلق عناصر بر اساس دنباله $(x_0, 5, 3, 1)$ LCG تعیین می‌گردند. به این صورت که به ازای مقادیر a ، b و m مفروض، تمامی دنباله‌های $(x_0, 5, 3, 1)$ BIN_LCG به ازای seedهای ممکن استخراج می‌شوند و هر کدام از دنباله‌ها دارای طول $m \times \gamma$ می‌باشد. شایان ذکر است که در طرح پیشنهادی، تعداد بردارهای فاز Q_l برابر با تعداد seedهای ممکن می‌باشد. لذا از رابطه (۲) می‌توان نتیجه گرفت که در طرح پیشنهادی:

$$m = \text{تعداد seedهای ممکن} = \text{تعداد بردارهای فاز } Q_l \quad (6)$$

$$L = m$$

در شکل (۵) مثالی برای توضیح بیشتر این مرحله آورده شده است.

مرحله ۳

در هر زیربردار به دست آمده از مرحله قبل، $q_{l,x}^{(x)}$ ، (که متشکل از اعداد ۱ و ۰ می‌باشند) ۱ها به $C > 1$ نگاشت می‌شوند و ۰ها به ۱ نگاشت می‌شوند. بنابراین در زیربردار مفروض، عناصری که مقدار آن‌ها $C > 1$ می‌باشد مجموعه λ_l را تشکیل می‌دهند. در حقیقت مجموعه λ_l نشان دهنده اطلاعات جانبی است که به صورت جداگانه ارسال نمی‌گردند بلکه درون بردار فاز Q_l جای گرفته‌اند. برای مثال، در شکل (۶) زیربردارهای با طول $X=15$ برای یک سیستم OFDM با $N=30$ زیرحامل نشان داده شده است. این زیربردارها با استفاده از $(x_0, 5, 3, 1)$ BIN_LCG و نیز $C > 1$ حاصل شده است. در شکل (۶)، فقط قدرمطلق عناصر نشان شده داده است زیرا فاز آن‌ها مانند طرح SLM، به صورت تصادفی انتخاب می‌شود.

در طرح پیشنهادی، برای کشف بردارهای فاز در سمت گیرنده، ضروری است که فرستنده و گیرنده به یک توافق مشترک در مورد پارامترهای LCG شامل (a, b, m) برسند. توضیح بیش تر الگوریتم کشف در قسمت ۳-۲ آمده است.

$x_0=0$	0	3	1	4	2
$x_0=1$	1	4	2	0	3
$x_0=2$	2	0	3	1	4
$x_0=3$	3	1	4	2	0
$x_0=4$	4	2	0	3	1

شکل (۳): دنباله اعداد تولید شده توسط (x_0) و ۵ و ۳ و ۱) LCG. پارامترهای انتخاب شده در این دنباله، شرایط لازم را برای حداکثر پیرو (به ازای تمامی مقادیر ممکن x_0) دارا هستند. پیرو دنباله‌های تولید شده، برابر با پیمانانه یعنی ۵ است. همان گونه که از شکل مشخص است با تغییر مقدار x_0 دنباله فقط شیفت داده می‌شود.

(x_0) و ۵ و ۳ و ۱) LCG شرایط لازم برای تولید دنباله با ماکزیمم پیرو را دارا می‌باشد. در شکل (۳)، دنباله اعداد تولید شده توسط (x_0) و ۵ و ۳ و ۱) LCG به ازای تمامی مقادیر ممکن (x_0) ، نشان داده شده است. هم‌چنین، (x_0) و ۵ و ۳ و ۱) BIN_LCG در شکل (۴) نمایش داده شده است که فرم باینری متناظر با اعداد تولید شده در شکل (۳) است. مقدار باینری متناظر با هر عدد دارای کار می‌رود این است که برخی از مکان‌های (سمبل‌های) بلوک داده ارسال D منبسط می‌گردند که این مکان‌ها بیانگر اطلاعات جانبی می‌باشند. در طرح پیشنهادی، بردارهای فاز $Q_l = q_{l,n}^{(N)} = [q_{l,0}, q_{l,1}, \dots, q_{l,N-1}]$ ، $l \in \{0, 1, \dots, L-1\}$ به گونه‌ای هستند که به ازای هر Q_l ، قدر مطلق برخی از عناصر دارای اندازه $C > 1$ و قدر مطلق سایر عناصر Q_l دارای اندازه ۱ می‌باشند. فازهای مربوط به عناصر $q_{l,n}$ ، مانند روش SLM، به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. توجه شود که مکان عناصری که اندازه آن‌ها $C > 1$ است در تمامی بردارهای فاز Q_l با یکدیگر متفاوت هستند و هیچ دو بردار فازی وجود ندارد که دارای مکان‌های $C > 1$ یکسان باشند. این مکان‌ها در هر زیربردار همان مکان‌های ۱ در دنباله $(x_0, 5, 3, 1)$ BIN_LCG می‌باشند و توسط λ_l نمایش داده می‌شوند. به عنوان مثال، اگر یک بردار فاز مفروض Q_l با $\{7\}$ و 6 و 5 و 3 متناظر گردد بیانگر این است که در هر زیربردار مربوط به بردار فاز Q_l ، فقط عناصر واقع در مکان‌های ۷ و ۶ و ۵ و $n=3$ دارای اندازه $C > 1$ می‌باشند به عبارت دیگر λ_l نشانگر اطلاعات جانبی SI است. بنابراین، به ازای یک بردار فاز مفروض Q_l ، فقط و فقط یک λ_l وجود دارد و برعکس.

در طرح پیشنهادی، برای ایجاد مجموعه بردارهای فاز به صورت زیر عمل می‌شود:

مرحله ۱

بردارهای فاز Q_l ، به U زیربردار با طول X تقسیم می‌شوند.

	زیربردار ۱														زیربردار ۲																
$l=1$	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	
$l=2$	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
$l=3$	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	
$l=4$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	
$l=5$	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1

شکل (۵): لیست $L=5$ بردار فاز، در یک سیستم OFDM با $N=30$ زیرحامل، قبل از اعمال نگاشت (مرحله ۲). در این مثال، هر بردار فاز Q_l به $U=2$ زیربردار با طول $X=15=5 \times 3$ تقسیم می‌شود. دنباله تولیدشده در هر زیربردار که دارای طول $X=15$ است با به‌کارگیری x_0 و ۳ و ۱) BIN_LCG در شکل (۴) حاصل شده است. به ازای هر بردار فاز Q_l ، دنباله تولیدشده در زیربردار ۱، در زیربردار ۲ نیز تکرار شده است.

	زیربردار ۱														زیربردار ۲															
$l=1$	1	1	1	1	C	C	1	1	C	C	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	C	1	1	C	C	1	1	1	C	1
$l=2$	1	1	C	C	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	C	1	1	C	C	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	C
$l=3$	1	C	1	1	1	1	1	C	C	1	1	C	C	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	C	1	1	C	C	1	1
$l=4$	1	C	C	1	1	C	C	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	C	1	1	C	C	1	1	1	C	1	1	1	1
$l=5$	C	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	C	1	1	C	C	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	C	1	1	C

شکل (۶): لیست $L=5$ بردار فاز، در یک سیستم OFDM با $N=30$ زیرحامل، بعد از اعمال نگاشت (مرحله ۳). در این شکل فقط قدرمطلق عناصر نشان داده شده است زیرا فاز آن‌ها به صورت تصادفی انتخاب می‌شود.

ارسالی $d_{V,n}$ بعد از عبور از کانال فیدینگ رایلی مسطح، به صورت رابطه (۸) است:

$$y_{V,n} = h_n \cdot d_{V,n} + n_n \quad n \in \{0,1,\dots,N-1\} \quad (8)$$

که در آن h_n یک عدد حقیقی است و بیانگر فیدینگ اعمال شده بر روی n امین زیرحامل است و n_n بیانگر یک نمونه نویز گوسی مختلط با میانگین صفر و واریانس σ^2 است.

گیرنده، بنا به توافق صورت گرفته قبلی با فرستنده، از مقدار a و b مطلع می‌باشد. بنابراین فرستنده می‌داند که به ازای هر زیربردار X سمبلی $(Y_V) = m * \lfloor \log_2^{m-1} + 1 \rfloor = m \times \gamma$ در فریم ارسالی (Y_V) ، برخی از سمبل‌ها توسط یک فاکتور C منبسط شده‌اند و بقیه منبسط نشده‌اند. همچنین با فرض این که نمونه‌های فیدینگ برای گیرنده شناخته شده باشد به عبارت دیگر، اطلاعات حالت کانال برای گیرنده کامل باشد (Perfect CSI). اگر گیرنده بتواند مکان سمبل‌های منبسط شده را درست حدس بزند آنگاه می‌تواند اطلاعات جانبی را کشف کند. بنابراین در سمت گیرنده تلاش بر این است که مکان سمبل‌های منبسط شده درست تشخیص داده شود.

قبل از بیان الگوریتم کشف اطلاعات جانبی در سمت گیرنده، لازم است که برخی از خواص دنباله‌های (a, b, m, x_0) BIN_LCG را یادآوری کنیم که در ادامه به آن اشاره می‌شود:

زمانی که تمامی بردارهای فاز Q_l تولید شوند آنگاه طرح پیشنهادی مانند طرح SLM کار می‌کند. به عبارت دیگر، بلوک داده D به صورت عنصر به عنصر در هر بردار فاز ضرب می‌شود تا این که L بردار $D_l = d_{l,n}^{(N)}$ که در آن $d_{l,n} = q_{l,n} \cdot d_n$ و نیز L سیگنال OFDM متناظر، $I_l(t)$ ، تولید شوند. در نهایت سیگنال $I_l(t)$ با کم‌ترین PAPR برای ارسال انتخاب می‌شود. در این مقاله، این سیگنال انتخابی با نام $I_V(t)$ مشخص گردیده که متناظر با بردارهای D_V و Q_V است:

$$Q_V = q_{V,n}^{(N)}, \quad D_V = d_{V,n}^{(N)}, \quad V \in \{0,1,\dots,L-1\} \quad (9)$$

شایان ذکر است که در طرح پیشنهادی، بعد از ضرب شدن بلوک داده D در بردارهای فاز Q_l ، انرژی میانگین هر سمبل ارسالی افزایش می‌یابد زیرا $|d_{l,n}| = |q_{l,n}| \cdot |d_n|$ و از آنجا که $|q_{l,n}|$ یا برابر ۱ است یا برابر $C > 1$ در نتیجه $E[|d_{l,n}|^2] > E[|d_n|^2]$ که در آن $E[\cdot]$ امید ریاضی و $|\cdot|$ بیانگر قدرمطلق است.

۳-۲- طراحی گیرنده در طرح پیشنهادی

در این مقاله، طرح پیشنهادی با استفاده از کانال فیدینگ رایلی مسطح^۷ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. حوزه فرکانس مربوط به هر سمبل

خاصیت ۱ - (خاصیت پنجره)

اگر دنباله (x_0, b, m, a) BIN_LCG را به m قسمت (پنجره) مساوی تقسیم شود، مشاهده می‌شود که هر قسمت (پنجره)، دارای $\gamma = \lfloor \log_2^{m-1} + 1 \rfloor$ بیت می‌باشد و هیچ دو پنجره‌ای مثل هم نیستند.

خاصیت ۲ - (خاصیت مکان "شاخص")

در یک دنباله (x_0, b, m, a) LCG، اگر مکان یکی از اعداد تولیدشده (که از این به بعد به آن، "عدد شاخص" گفته می‌شود) مشخص گردد، آنگاه مکان سایر اعداد تولیدشده نیز مشخص می‌گردد. به‌طور مشابه، اگر مکان مربوط به شکل باینری یکی از اعداد تولیدشده (که از این به بعد به آن، "پنجره شاخص" گفته می‌شود) در (x_0, b, m, a) BIN_LCG مشخص گردد آنگاه مکان سایر 0 و 1ها نیز مشخص می‌گردد.

لم ۱ - (مکان صفرها)

از خاصیت ۲ می‌توان نتیجه گرفت که:

در هر دنباله (x_0, b, m, a) BIN_LCG، اگر مکان "پنجره شاخص" مشخص شود آنگاه مکان تمامی 0های دنباله (x_0, b, m, a) BIN_LCG مشخص می‌گردد.

یادآوری می‌گردد، هر کدام از m پنجره تولیدشده در خاصیت ۱، می‌تواند به‌عنوان "پنجره شاخص" در نظر گرفته شود زیرا پنجره‌های استخراج‌شده در خاصیت ۱ در اصل شکل باینری اعداد تولیدشده در LCG است.

الگوریتم کشف اطلاعات جانبی (SI) در گیرنده، شامل مراحل زیر می‌باشد و بلوک دیاگرام آن در شکل (۷) نشان داده شده است:

(الف) از میان m پنجره استخراج‌شده در (x_0, b, m, a) BIN_LCG، (خاصیت ۱) یک پنجره به عنوان پنجره شاخص در نظر گرفته می‌شود و مکان‌های صفر نسبت به آن پنجره را مشخص می‌شود.

(ب) در گیرنده، انرژی نمونه‌های فریم دریافتی و نیز انرژی مربوط به نمونه‌های فیدینگ، در فریم مذکور به‌صورت رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$P = |y_n|^2 \quad n \in \{1, 2, \dots, U \times m \times \gamma = N\} \quad (9)$$

$$F = (h_n)^2$$

که در آن، P عبارت از انرژی نمونه‌های فریم دریافتی و F انرژی مربوط به نمونه‌های فیدینگ می‌باشد.

(ج) در فریم دریافتی، اولین $m \times \gamma$ نمونه را (که معادل با اولین زیربردار است) مطابق با خاصیت ۱، به m قسمت (پنجره) مساوی تقسیم می‌شود در نتیجه m پنجره‌ی γ نمونه‌ای استخراج می‌شود:

$$W = w_j^{(\gamma)} \quad j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (10)$$

سپس تلاش می‌شود، از میان پنجره‌های استخراج‌شده، پنجره‌ای که با "پنجره شاخص" مذکور در مرحله الف، متناظر است تشخیص داده شود.

(د) هر کدام از پنجره‌های استخراج‌شده، $w_j^{(\gamma)}$ ، به‌عنوان "پنجره شاخص" مذکور در مرحله الف، در نظر گرفته می‌شود و سپس با در نظر گرفتن لم ۱، میانگین انرژی سمبل‌های واقع در مکان‌های صفر (نسبت به پنجره مد نظر)، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\eta_j = \frac{E[P_z] - \sigma^2}{E[F_z]} \quad j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (11)$$

که در آن:

Z : عبارت است از مکان‌های صفر بر اساس مکان پنجره $w_j^{(\gamma)}$

P_z : انرژی نمونه‌های واقع در مکان‌های صفر فریم دریافتی، بر اساس

مکان پنجره $w_j^{(\gamma)}$

F_z : انرژی نمونه‌های واقع در مکان‌های صفر متناظر در فیدینگ، بر

اساس مکان پنجره $w_j^{(\gamma)}$

η_j : میانگین انرژی سمبل‌های واقع در مکان‌های صفر، بر اساس

موقعیت پنجره $w_j^{(\gamma)}$

و $E[\cdot]$ امید ریاضی می‌باشد.

محاسبه رابطه (۱۱) برای هر پنجره $w_j^{(\gamma)}$ ، این امکان را می‌دهد که کم‌ترین میانگین انرژی در مکان‌های صفر (کم‌ترین مقدار η_j) تعیین شود. هم‌چنین مشخص می‌گردد که کم‌ترین مقدار η_j مربوط به کدام پنجره $w_j^{(\gamma)}$ می‌باشد که در نتیجه آن، می‌توان مکان پنجره $w_j^{(\gamma)}$ را تعیین کرد که این مکان، به‌عنوان محل "پنجره شاخص" مشخص می‌گردد. بر اساس خاصیت ۲ با مشخص شدن پنجره شاخص، مکان

سایر 0 و 1ها نیز مشخص می‌گردد. (ه) با مشخص شدن مکان 0 و 1ها در مرحله قبل، 1ها به $C > 1$ ، 0ها را به 1 نگاشت می‌شوند؛ آنگاه بردار فاز حدس زده می‌شود.

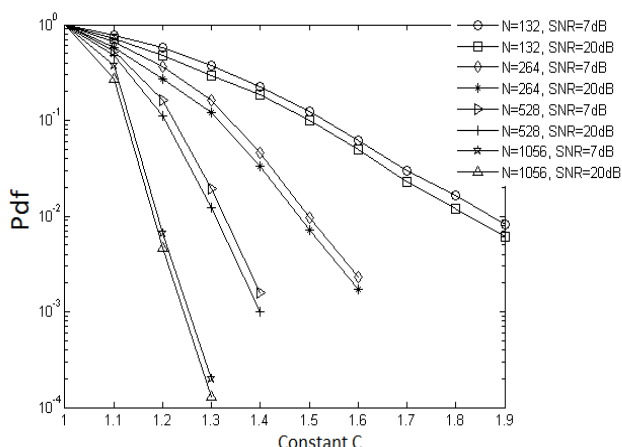
به صورت تصادفی و با احتمال مساوی انتخاب شده است و کانال فیدینگ رایلی برای ارسال در نظر گرفته شده است.

۴-۱- احتمال خطای کشف SI

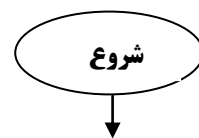
احتمال خطای کشف SI (P_{df}) عبارت است از احتمالی که گیرنده نتواند اطلاعات جانبی را به طور صحیح کشف نماید که در این حالت کل فریم از بین می‌رود. در شکل (۸)، نمودارهای P_{df} بر حسب فاکتور C به ازای دو مقدار سیگنال به نویز 20 dB و 7 dB ($SNR = \gamma$) و تعداد زیرحامل‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به شکل (۸)، مشخص است که مقدار SNR تاثیر زیادی بر عملکرد P_{df} ندارد در حالی که مقادیر N و C تاثیر چشم‌گیری بر P_{df} دارند. در مقادیر بالای C ، تمایز بیش‌تری بین سمبل‌های منبسط‌شده و سمبل‌های عادی به وجود می‌آید که این امر باعث می‌شود احتمال خطای کشف اطلاعات جانبی، کم‌تر شود. به علاوه وقتی که N زیاد می‌شود تعداد زیربردارها نیز افزایش می‌یابد در نتیجه تعداد مکان‌های صفر در هر فریم بالا می‌رود و باعث می‌شود رابطه (۱۱) تقریباً قابل قبول‌تری از میانگین انرژی، ارائه دهد. در نتیجه در طرح پیشنهادی، با افزایش N نتایج بهتری، به ازای تمامی مقادیر C ، به دست می‌آید.

جدول (۱): پارامترهای LCG به کاررفته در مثال

a	b	m	$\gamma = \lfloor \log_2^{m-1} + 1 \rfloor$	$X = m \times \gamma$	U	$N = U \times X$
۱	۷	۱۱	۴	۴۴	۱	۴۴
					۳	۱۳۲
					۶	۲۶۴
					۱۲	۵۲۸
					۲۴	۱۰۵۶



شکل (۸): احتمال خطای کشف اطلاعات جانبی بر حسب ثابت C ، به ازای مقادیر 20 dB و 7 dB SNR و تعداد $N=132, 264, 528, 1056$ زیرحامل که در آن از مدولاسیون 16-QAM و کانال فیدینگ رایلی استفاده شده است.



از اولین نمونه $m \times \gamma$ نمونه فریم دریافتی، m پنجره γ نمونه‌ای استخراج می‌کنیم.

هر کدام از پنجره‌های استخراج‌شده، را به عنوان «پنجره شاخص» فرض می‌کنیم و مکان‌های صفر را نسبت به هر بلوک مشخص می‌کنیم.

به ازای هر پنجره، میانگین انرژی سمبل‌های واقع در مکان‌های صفر با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود (η مربوط به هر پنجره محاسبه می‌شود).

از میان η های به دست آمده، کم‌ترین η و نیز پنجره منسوب به آن انتخاب می‌شود. این پنجره، به عنوان پنجره‌ای که بیش‌ترین احتمال را برای «پنجره شاخص هدف» دارد در نظر گرفته می‌شود.

مطابق با خاصیت ۲، مکان سایر 0 و 1ها، مشخص می‌گردد. 1ها به $C > 1$ نگاشت می‌شوند و 0ها به 1 نگاشت می‌شوند، آنگاه بردار حاصل به عنوان بردار فاز حدس زده می‌شود.



شکل (۷): بلوک دیاگرام الگوریتم کشف اطلاعات جانبی

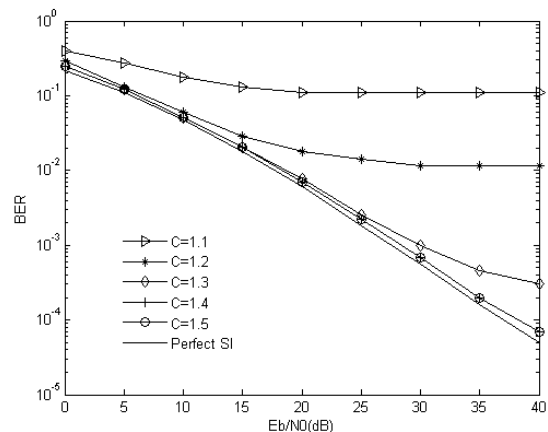
با مراحل گفته شده، این امکان وجود دارد که برای برخی فریم‌های دریافتی، مکان «پنجره شاخص» درست تشخیص داده نشود که در این حالت گیرنده نمی‌تواند اطلاعات جانبی آن فریم را به طور صحیح کشف کند. به هر حال طراح سیستم باید بداند که به ازای یک m ثابت، هرچه مقدار C بزرگ‌تر باشد افزایش بیش‌تری در انرژی داریم که این افزایش انرژی باعث می‌شود که خطای سیستم در کشف اطلاعات جانبی کاهش یابد.

۴- نمونه

در این بخش، برای ارزیابی طرح پیشنهادی، یک سیستم OFDM با N زیرحامل و مدولاسیون 16-QAM در نظر می‌گیریم. در این مثال، از پیمانه $m=11$ استفاده شده است. بنابراین طول هر زیربردار $q_{l,x}^{(X)}$ برابر است با $X = m \times \gamma = m \times \lfloor \log_2^{m-1} + 1 \rfloor = 44$. جدول ۱، پارامترهای بکار رفته در مثال را برای یک سیستم OFDM با تعداد زیرحامل برابر با ۴۴، ۱۳۲، ۲۶۴، ۵۲۸، ۱۰۵۶ نشان می‌دهد. پارامترهای انتخاب‌شده، شرایط لازم برای تولید دنباله با ماکزیمم پیروی را دارا می‌باشند. برای فازهای مربوط به عناصر $q_{l,m}$ ، مقادیر 0 و π

۲-۴- ارزیابی عملکرد BER

ارزیابی نرخ خطای بیت (BER)، دارای اهمیت ویژه‌ای است که در ادامه به بررسی آن پرداخته می‌شود. در شکل (۹)، نرخ خطای بیت بر حسب SNR نشان داده شده است. این منحنی‌ها بر اساس پارامترهای داده شده در جدول (۱)، به ازای $N=264$ زیرحامل و نیز مقادیر مختلف C ترسیم شده‌اند. همان گونه که از شکل (۹) مشخص است، افزایش انرژی میانگین سمبل‌های ارسالی، تاثیر زیادی بر عملکرد BER دارد و هرچه مقدار C بزرگ‌تر باشد نرخ خطای بیت کم‌تر می‌شود. مشاهده می‌شود که منحنی‌های متناظر با $C=1.4$ و $C=1.5$ بر هم منطبق شده‌اند. به منظور مقایسه، منحنی‌های BER مربوط به یک سیستم OFDM معادل، که در آن از روش SLM استفاده شده است نیز ترسیم گردیده است و در آن فرض شده است که آگاهی کامل از اطلاعات جانبی وجود دارد (Perfect SI). از روی شکل (۹) می‌توان دریافت که در $BER=10^{-2}$ ، منحنی‌های متناظر با $C=1.5$ و $C=1.4$ در مقایسه با سیستم SLM که آگاهی کامل از اطلاعات جانبی در آن فرض شده است (بدون خطای کشف)، فقط 0.5 dB اختلاف دارد.

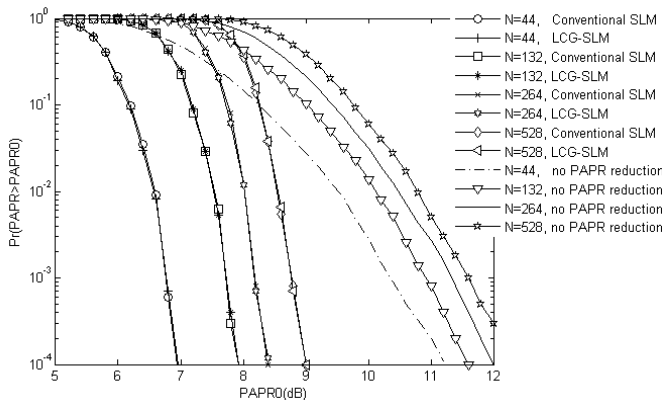


شکل (۹): عملکرد نرخ خطای بیت (BER) یک سیستم OFDM با تعداد زیرحامل مطابق با جدول (۱)، به ازای مقادیر مختلف C . برای ارسال، از کانال فیدینگ راپلی و مدولاسیون ۱۶-QAM استفاده گردیده است. به منظور مقایسه، منحنی‌های BER مربوط به روش SLM که در آن فرض شده است که آگاهی کامل از اطلاعات جانبی وجود داشته باشد (Perfect SI) نیز ترسیم گردیده است.

۳-۴- عملکرد کاهش PAPR

تابع توزیع تجمعی (CCDF) مربوط به PAPR، یکی از شاخص‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری تاثیر هر روش در کاهش PAPR به شمار می‌رود. تابع توزیع تجمعی PAPR، احتمال تجاوز PAPR یک بلوک داده از حد مجاز داده شده را بیان می‌کند. در شکل (۱۰)، عملکرد کاهش PAPR در طرح پیشنهادی با استفاده از تعداد زیرحامل برابر با $N=264$ ، 132 ، 264 ، 528 ، مطابق با پارامترهای جدول (۱) و $C=1.4$ نشان داده شده است. هم‌چنین به منظور مقایسه، منحنی‌های

مربوط به یک سیستم OFDM معادل، که در آن از هیچ گونه روش کاهش PAPR استفاده نگردیده است، به همراه یک سیستم OFDM معادل، که در آن از روش SLM استفاده شده است نیز در شکل (۱۰) ترسیم گردیده‌اند. تمامی نتایج با به‌کارگیری فاکتور $\text{oversampling}=4$ حاصل شده‌اند [۱۹]. مطابق با نتایج حاصل از شکل (۱۰)، مشاهده می‌شود که عملکرد طرح پیشنهادی از لحاظ کاهش PAPR با روش SLM یکسان می‌باشد.



شکل (۱۰): CCDF مربوط به PAPR در طرح پیشنهادی با استفاده از $C=1.4$ و تعداد $N=44$ ، 132 ، 264 ، 528 زیرحامل که در آن مدولاسیون QAM-۱۶ و نیز $\text{oversampling}=4$ بکار رفته است. به منظور مقایسه، منحنی‌های PAPR مربوط به یک سیستم OFDM معادل که در آن از هیچ گونه روش کاهش PAPR استفاده نگردیده است، به همراه یک سیستم دیگر که در آن از روش SLM استفاده شده است نیز ترسیم گردیده‌اند

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، در راستای کاهش مشکل PAPR در سیستم‌های OFDM، طرحی را بر مبنای SLM طراحی شده که در آن به ارسال بیت‌های جداگانه که بیانگر اطلاعات جانبی باشند نیازی نیست. طراحی این روش، از الگوریتم LCG استفاده شده است که یکی از روش‌های تولید اعداد تصادفی به شمار می‌آید و این امکان را فراهم می‌کند که بردار ضرایب فاز، به صورت تصادفی انتخاب شوند. در مقایسه با طرح SLM در حالتی که فرض شود آگاهی کامل از اطلاعات جانبی وجود داشته باشد، طرح پیشنهادی به خوبی عمل می‌کند و با ارائه یک مثال نشان داده شد که طرح پیشنهادی از لحاظ نرخ خطای بیت (BER)، احتمال کشف همراه با خطا (Pdf) و کاهش PAPR عملکرد بسیار خوبی دارد.

مراجع

- [1] S. B. Weinstein and P. M. Ebert, "Data Transmission by Frequency Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform," IEEE Transaction on Communication Technology, Vol. COM-19, pp. 628-634, Oct 1971.

reduction in OFDM system,” IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 54, No. 4, pp. 821–824, 2008.

زیرنویس‌ها

- 1 Orthogonal frequency division multiplexing
- 2 Selected mapping
- 3 side information
- 4 Linear congruential generator
- 5 bit error rate
- 6 probability of detection failure
- 7 Flat Rayleigh fading channel
- 8 channel state information

- [2] R. Van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*. Norwood, MA: Artech House, 2000.
- [3] L. Nuaymi, *WiMAX Technology for Broadband Wireless Access*, John Wiley & Sons, 2007.
- [4] X. Li and L. J. Cimini Jr, "Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM," IEEE Communication Letters, pp. 131-133, May 1998.
- [5] N. Carson and T. A. Gulliver, "Peak-to-average power ratio reduction of OFDM using repeat-accumulate codes and selective mapping," in Proc. IEEE International Symposium on Inform Theory, p. 244, 2002.
- [6] S. H. Han and J. H. Lee, "An Overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission," IEEE Wireless Communications, Vol. 12, No. 2, pp. 56-65, April 2005.
- [7] S. B. Weinstein and P. M. Ebert. "Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete Fourier transform", IEEE Transactions on Communication Technology, Vol. COM-19, No. 5, pp. 628-634, October 1971.
- [8] H. Ochiai and H. Imai, "Performance Analysis of deliberately clipped OFDM signals," IEEE Transactions on communications, Vol. 50, No. 1, pp. 89-101, 2002.
- [9] S. H. Muller and J. B. Huber, "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences," Electronics Letters, Vol. 33, pp. 368–369, 1997.
- [10] B. S. Krongold and D. L. Jones, "PAR reduction in OFDM via active constellation extension," IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 49, No. 3, pp. 258–268, 2003.
- [11] R. W. Bäuml, R. F. H. Fischer and J. B. Huber, "Reducing the peak-to average power ratio of multicarrier modulation by selected mapping," Electronics Letters, Vol. 32, No. 22, pp. 2056–2057, 1996.
- [12] S. Meymanatabadi, J. Musevi Niya and B. Mozaffari, "Selected mapping technique for papr reduction without side information based on m-Sequence," Wireless Personal Communication, Vol. 71, No. 4, pp. 2523–2534, 2013.
- [13] S.. Meymanatabadi, J. Musevi Niya and B. Mozaffari, "An efficient scheme for papr reduction of ofdm based on selected mapping without side information," Amirkabir Journal of Science and Technology, 2012.
- [14] S.. Meymanatabadi and J. Musevi Niya, "An MRG-based method for PAPR reduction in SLM without side information", China Communications, Vol. 10, No. 8, pp. 68-76, 2013.
- [15] N. Chen and G. T. Zhou, "Peak-to-average power ratio reduction in OFDM with blind selected pilot tone modulation," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 5, No. 8, pp. 2210–2216, 2006.
- [16] S. Y. L. Goff, B. K. Khoo, C. C. Tsimenidis and B. S. Sharif, "A novel selected mapping technique for PAPR reduction in OFDM systems," IEEE Transactions on Communication, Vol. 56, No. 11, 2008.
- [17] D. E. Knuth, *The Linear Congruential Method: The Art of Computer Programming*, Volume 2: Seminumerical Algorithms, Addison-Wesley, 3rd edn, pp. 10–26, 1997
- [18] S. K. Park and K. W. Miller, "Random number generators: good ones are hard to find," Communications of the ACM, Vol. 31, No. 10, pp. 1192–1201, 1988
- [19] L. Yang, K. K. Soo, Y. M. Siu and S. Q. Li, "A low complexity selected mapping scheme by use of time domain sequence superposition technique for PAPR