

Evaluasi Penerapan Algoritma *Neural Network* Sebagai Teknik Reduksi PAPR Pada Sistem OFDM

Mohamad Ridwan, Melki Mario Gulo, Yoedy Moegiharto, Arifin, Muhammad Milchan
Telecommunication Engineering
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Surabaya, Indonesia

ridwan@pens.ac.id, melkimariogulo@gmail.com, yomoegiharto@pens.ac.id, arifin@pens.ac.id,
milchan@pens.ac.id

Abstrack – This paper evaluates the performance of the Neural Network algorithm as a PAPR reduction technique of a OFDM system. Simulation result shows that for OFDM signals with subcarrier numbers of 64 and modulation 16 QAM, application the NN algorithm gives a decreasing PAPR value 5,6 dB comparing to PAPR of OFDM signal without reducton. Also comparing the NN algorithm with other reduction techniques such as Iterative Clipping and Filtering, (ICF), Selective Mapping (SLM) and Partial Transmit Sequence (PTS). CCDF curves shows the performance the NN algorithm has the best one comparing to Iterative Clipping and Filtering, (ICF), Selective Mapping (SLM) and Partial Transmit Sequence (PTS) techniques. At the receiver side the evaluation is represented in bit error rate values, and the NN algorithm has the best performance.

Keywords - PAPR, Iterative Clipping and Filtering, (ICF), Selective Mapping (SLM), Partial Transmit Sequence (PTS), NN algorithm.

Intisari– Pada makalah ini dilakukan evaluasi kinerja algoritma Neural Network sebagai teknik reduksi sistem OFDM. Hasil simulasi untuk sinyal OFDM dengan jumlah subcarrier sebanyak 64 dan modulasi 16 QAM menunjukkan penerapan algoritma NN menghasilkan penurunan nilai PAPR sekitar 5,6 dB dari PAPR sinyal OFDM tanpa reduksi. Juga dibandingkan dengan teknik reduksi PAPR metode *Iterative Clipping and Filtering*, (ICF), *Selective Mapping* (SLM) dan *Partial Transmit Sequence* (PTS). Dari kurva CCDF juga ditunjukkan bahwa metode NN menghasilkan kinerja yang lebih baik dibanding metode digabungkan dengan teknik *Iterative Clipping and Filtering*, (ICF), *Selective Mapping* (SLM) dan *Partial Transmit Sequence* (PTS). Evaluasi di sisi penerima dengan pengamatan nilai *bit error rate*, penerapan algoritma NN memiliki kinerja yang terbaik.

Keywords - PAPR, *Iterative Clipping and Filtering*, (ICF), *Selective Mapping* (SLM), *Partial Transmit Sequence* (PTS), NN algorithm.

I. PENDAHULUAN

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) telah diterapkan pada banyak system komunikasi nirkabel karena memberikan efisiensi bandwidth yang baik, kebal terhadap efek multipath fading kanal dan kompleksitas yang rendah rancangan perangkat penerima. Tetapi sinyal OFDM memiliki amplitudo-amplitudo yang besar karena hasil penjumlahan yang koheren setiap modulasi subcarriernya. Sehingga OFDM dengan jumlah subcarrier yang banyak akan memiliki nilai peak to average power ratio (PAPR) yang besar. Dan bila dilewatkan pada sebuah penguat daya tak linier di sebuah penerima, sinyal tersebut akan membuat penguat daya bekerja dekat daerah saturasinya dan menyebabkan distorsi tak linier pada sinyal yang dipancarkan. Maka

dibutuhkan teknik reduksi PAPR untuk menghilangkan distorsi tak linier pada PA, beberapa teknik reduksi PAPR terus diteliti seperti metode Iterative Clipping and Filtering (ICF) [1], Selective Mapping (SLM) [2] dan Partial Transmit Sequence (PTS) [3]. Metode CF menghasilkan sinyal hasil reduksi yang cacat hasil clipping sehingga kinerja system di penerima buruk. Sedangkan metode SLM dan PTS tidak menghasilkan kecacatan sinyal yang dihasilkan sehingga kinerja sistem OFDM di penerima lebih baik. Metode SLM dan PTS termasuk kelompok scrambling technique, dengan kelemahan kompleksitas perhitungan yang tinggi karena dibutuhkan proses penentuan faktor fasa yang tepat untuk membangkitkan sebuah sinyal yang dihasilkan dengan nilai PAPR terkecil. Di sisi penerima juga dibutuhkan sebuah side information tentang faktor fasa di pemancar untuk memproses sinyal yang diterima menjadi seperti sinyal yang dikirimkan. Kemudian diteliti penerapan algoritma neural network (deep learning) sebagai sebuah teknik reduksi PAPR [4]. Penerapan deep learning dapat memperbaiki kinerja BER system dan CCDF dibanding metode clipping and filtering (CF) dan Partial Transmit Sequence (PTS) [4]. Pada makalah ini selain metode CF dan PTS, dilakukan evaluasi juga untuk metode Selective Mapping (SLM) dan algoritma NN, hasil simulasi dinyatakan dalam kurva CCDF dan BER.

II. SIGNIFIKASI STUDI

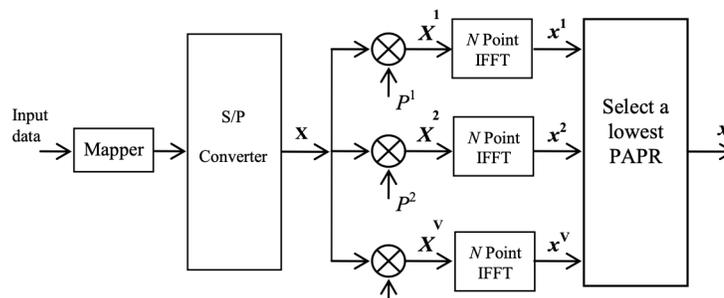
A. Metode ICF, SLM dan PTS

Metode clipping and filtering menerapkan proses iterasi untuk mendapatkan sinyal hasil clipping dan filtering yang tepat dan spektrum frekwensi yang memenuhi persyaratan. Untuk tidak menaikkan kompleksitas perhitungan dianggap dengan 3 iterasi sudah memadai [1]. Sinyal hasil clipping dan filtering dapat dituliskan seperti,

$$c(t) = \begin{cases} Ae^{j\phi(t)}, & |x(t)| > A \\ x(t), & |x(t)| \leq A \end{cases} \tag{1}$$

dengan $c(t), x(t)$ masing-masing menyatakan sinyal OFDM hasil clipping dan filtering, sinyal OFDM asli sebelum proses clipping dan filtering. $A, \phi(t)$ adalah level atau threshold clipping dan fasa sinyal $x(t)$.

Sedang pada metode Selective Mapping (SLM), sebuah deretan simbol modulasi digital dengan panjang N , N jumlah subcarrier, dibuat paralel sebanyak V subblok yang saling disjoint. Pada setiap subblok, deretan symbol dikalikan elemen per elemen dengan sebuah deretan factor fasa panjang N , kemudian dilakukan proses IFFT [5]. Sehingga dihasilkan V buah kandidat sinyal OFDM, $x^v(k)$ dari V buah kandidat sinyal dipilih sebuah sinyal OFDM yang memiliki nilai PAPR terkecil, $x(k)$. Diagram blok SLM ditunjukkan seperti gambar 1



Gambar 1. Blok diagram *Selective Mapping* (SLM).

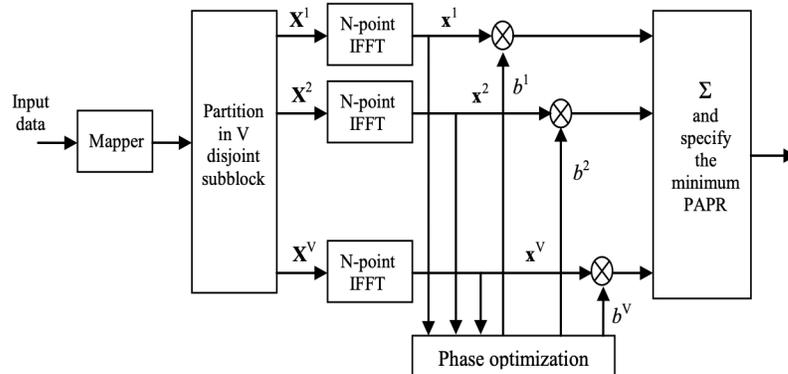
Pada metode *Partial Transmit Sequence* (PTS), sebuah deretan simbol modulasi digital dengan panjang N , N jumlah subcarrier, dipilah paralel sebanyak V subblok yang saling disjoint. Setiap subblok N/V elemen berisi simbol modulasi digital yang tersusun menurut pola tertentu, sisa elemen subblok diisi nol [6]. Dengan menggunakan transformasi IFFT untuk tiap subblok dihasilkan vektor simbol dalam ranah waktu, $\mathbf{x} = \text{IFFT}(\mathbf{X})$. Kemudian setiap hasil IFFT pada tiap subblok dikalikan dengan sebuah faktor fasa yang berotasi, b^v , $v=1,2,\dots, V$, dengan $b^v = e^{j2\pi v/W}$ dan W menyatakan jumlah factor fasa yang dimungkinkan. Elemen-elemen factor fasa umumnya konstan, umumnya dipilih $\{\pm 1\}$ atau $\{\pm 1, \pm j\}$ untuk mengurangi kompleksitas perkalian. Sinyal OFDM ranah waktu setelah penjumlahan dituliskan seperti,

$$\mathbf{x} = \text{IFFT}\left(\sum_{v=1}^V b^v \mathbf{x}^v\right) = \sum_{v=1}^V b^v \text{IFFT}(\mathbf{x}^v) \tag{2}$$

Sebuah bakal sinyal OFDM yang memiliki nilai PAPR terkecil yang dipilih untuk ditransmisikan. Dengan mengamati factor-faktor fasa, akan diperoleh penjumlahan sinyal yang memiliki nilai PAPR terkecil. Maka problema optimasi pada metode PTS dapat dijelaskan seperti berikut,

$$\{b_1, b_2, \dots, b_V\}_{\text{terbaik}} = \arg \min_{\{b_1, b_2, \dots, b_V\}} \{PAPR(n)\} \tag{3}$$

Blok diagram metode PTS ditunjukkan seperti gambar 2.

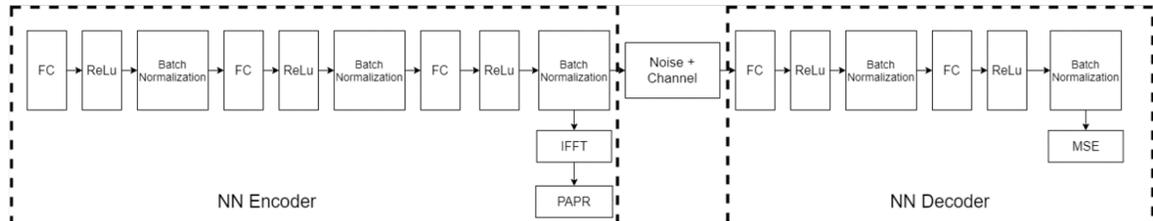


Gambar 2. Blok diagram *Partial Transmit Sequence* (PTS),

B. Metode Neural Network

Metode *Neural Network* digunakan dengan menggunakan model yang sudah di *training* untuk mereduksi PAPR. Model *Neural Network* yang sudah di training akan menghasilkan alternatif symbol yang memiliki nilai PAPR minimum dari sinyal modulasi [8]. Dalam pembuatan *Neural Network* untuk mereduksi PAPR ini digunakan arsitektur *autoencoder* [7]. Pada arsitektur *autoencoder* model akan dibagi ke dalam dua sub model yaitu encoder dan decoder [10]. Pemanfaatan arsitektur autoencoder untuk mereduksi PAPR pada OFDM adalah dengan menggunakan encoder untuk mereduksi PAPR dengan menghasilkan sinyal alternatif dan decoder untuk merekonstruksi sinyal alternatif menjadi simbol modulasi. Dengan demikian, encoder akan dipasang pada transmitter dan decoder akan dipasang pada receiver. Skema arsitektur yang

digunakan untuk metode reduksi PAPR pada sinyal OFDM dengan menggunakan NN ditunjukkan seperti gambar 3.



Gambar 3. Arsitektur autoencoder untuk reduksi PAPR.

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa encoder akan ditraining untuk mereduksi PAPR sinyal, sedangkan pada decoder akan ditraining untuk merekonstruksi simbol dari sinyal hasil encoder. Pada setiap Fully Connected layer (FC) pada arsitektur tersebut akan diimplementasikan penggunaan batchnormalization untuk menormalisasi hasil dari FC sebelum masuk ke activation function. Proses feed forward pada encoder NN untuk mereduksi PAPR dapat ditulis seperti persamaan berikut,

$$\hat{y} = f(BN(w^{[3]}.f(BN(w^{[2]}.f(BN(w^{[1]}.X + b^{[1]})) + b^{[2]})) + b^{[3]})) \tag{4}$$

dengan,

- \hat{y} = Encoder output
- f = Activation function ReLu
- BN = Batch Normalization
- w = Weight
- b = Bias
- X = Data input

Selanjutnya nilai \hat{y} dikomputasi untuk dihitung lossnya dengan menggunakan formulasi PAPR seperti persamaan (5) dan persamaan (6).

$$PAPR = \frac{P_{\text{peak}}}{P_{\text{average}}} = \frac{\max |IFFT(\hat{y})|^2}{E(|IFFT(\hat{y})|^2)} \tag{5}$$

$$\mathcal{L}(\hat{y}) = PAPR(\text{dB}) = 10\log_{10}(PAPR) \tag{6}$$

Input data training yang digunakan pada model NN ini adalah sinyal modulasi 16-QAM sedangkan untuk output data training menggunakan nilai PAPR(dB) = 0. Sedangkan persamaan feed forward untuk decoder pada arsitektur ini dapat dituliskan seperti,

$$\hat{y} = f_1(f_2(BN(w^{[2]}.f_2(BN(w^{[1]}.X + b^{[1]})) + b^{[2]}))) \tag{7}$$

dengan,

- \hat{y} = Encoder output
- f_2 = Activation function ReLu
- f_1 = Activation function linear
- BN = Batch Normalization
- w = Weight
- b = Bias
- X = Data input

Selanjutnya nilai \hat{y} akan dihitung lossnya menggunakan persamaan berikut,

$$\mathcal{L}(\hat{y}, X) = \frac{1}{n} \sum (X - \hat{y})^2 \tag{8}$$

Input pada model decoder ini adalah sinyal alternatif hasil encoder dan telah terganggu noise serta kanal. Sedangkan untuk outputnya pada model encoder ini adalah simbol modulasi 16-QAM seperti input pada encoder.

C. PAPR dan CCDF

PAPR (*Peak-to-Average Power Ratio*) menyatakan pembagian antara daya maksimum sebuah cuplikan sinyal OFDM yang dikirimkan dengan daya rata-rata sinyal OFDM, dinyatakan dalam satuan dB [9]. PAPR sebuah sinyal OFDM $x(t)$ dapat didefinisikan seperti,

$$\text{PAPR}[\text{dB}] = \frac{P_{\text{peak}}}{P_{\text{average}}} \triangleq 10 \log_{10} \left(\frac{\max_{t \in [0, T_s]} |x(t)|^2}{E(|x(t)|^2)} \right) \tag{9}$$

Dan untuk mengevaluasi PAPR umumnya digunakan *Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF)*. Dan sebuah kurva CCDF menyatakan berapa banyak amplitudo sinyal diatas harga sebuah level daya. Secara matematis CCDF dituliskan seperti,

$$\text{CCDF} = \text{Pr}(\text{PAPR} > \text{PAPR}_0) \tag{10}$$

$$\text{Pr}(\text{PAPR} < \text{PAPR}_0) = \left(1 - (e^{-\text{PAPR}_0}) \right)^N \tag{11}$$

dengan PAPR_0 menyatakan nilai level daya (dB), N jumlah subcarrier.

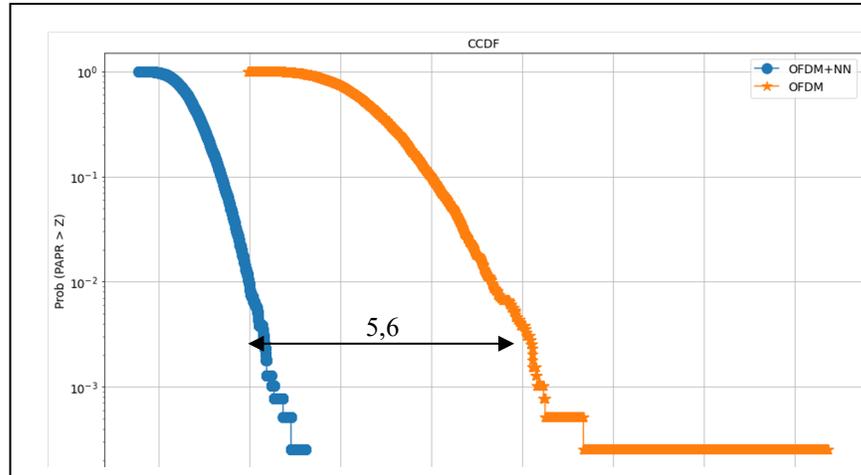
$$\text{CCDF} = 1 - \left(1 - (e^{-\text{PAPR}_0}) \right)^N \tag{12}$$

Sedang untuk CCDF sinyal hasil reduksi PAPR metode SLM atau PTS dengan V jumlah subblok dituliskan seperti,

$$\text{CCDF} = \left(1 - \left(1 - (e^{-\text{PAPR}_0}) \right)^N \right)^V \tag{13}$$

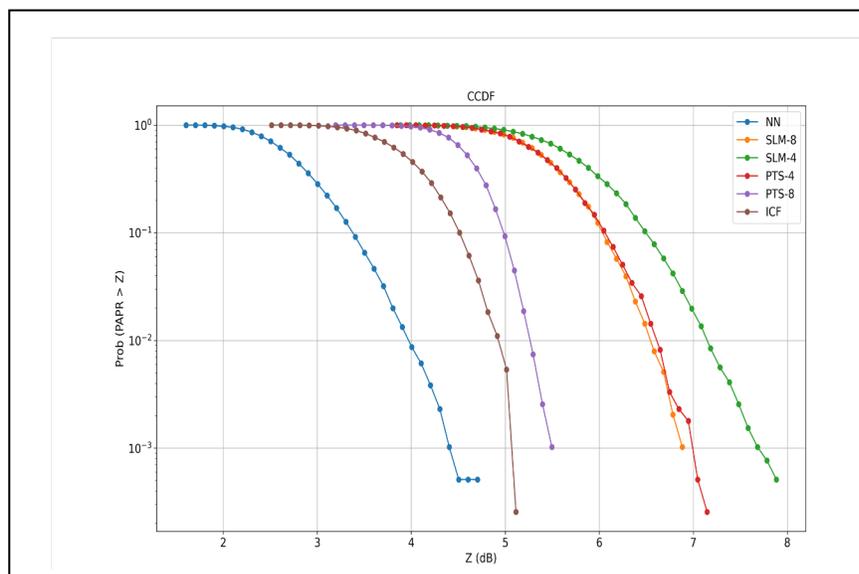
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dikerjakan pada sinyal OFDM dengan jumlah subcarrier 64, modulasi 16 QAM. Jumlah iterasi untuk ICF sebanyak 3, jumlah subblok untuk SLM dan PTS 4 dan 8 buah. Jumlah symbol OFDM sebanyak 1000 buah, dan digunakan model kanal multipath Rayleigh fading. Hasil simulasi kurva CCDF yang menunjukkan kinerja teknik reduksi PAPR metode NN dengan sinyal OFDM ditunjukkan seperti gambar 3. Penurunan nilai PAPR dengan metode NN dari PAPR sinyal OFDM ditunjukkan sebesar sekitar 5,6 dB.



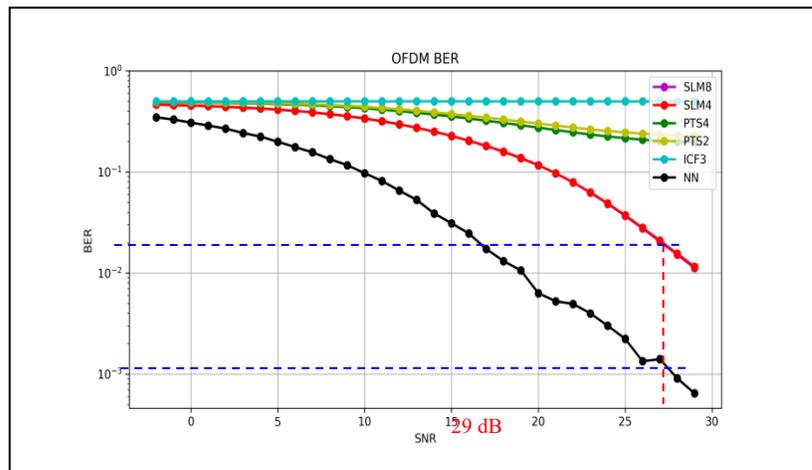
Gambar 3. Penurunan nilai PAPR dengan

Hasil simulasi kurva CCDF yang menunjukkan perbandingan kinerja teknik reduksi PAPR antara metode ICF, SLM,PTS dan algoritma NN ditunjukkan seperti gambar 4. Metode algoritma NN memberikan hasil penurunan nilai PAPR yang paling besar dibandingkan 3 metode teknik reduksi PAPR lain.



Gambar 4. Perbandingan kurva CCDF.

Kinerja penerimaan sinyal informasi di sisi penerima ditunjukkan dengan kurva bit error rate (BER), Gambar 5 menunjukkan bahwa algoritma NN menunjukkan hasil kinerja BER paling baik dibanding penerapan teknik reduksi PAPR lain di sisi penerima. Pada nilai snr sebesar sekitar 29 dB nilai BER untuk algoritma NN bisa mencapai lebih kecil dari 10^{-3} , sedangkan untuk metode SLM mencapai nilai BER 10^{-2} .



Gambar 5. Perbandingan Kinerja BER .

IV. KESIMPULAN

Algoritma NN dapat menghasikan kinerja sistem OFDM yang paling baik dibanding teknik reduksi konvensional seperti metode Iterative Clipping and Filtering (ICF), Selective Mapping (SLM) dan Partial Transmit Sequence (PTS), baik dievaluasi dari kurva CCDF dan dari nilai BER di sisi penerima. NN bisa diterapkan lebih lanjut untuk teknik linierisasi untuk menaikkan efisiensi daya karena aplikasi reduksi PAPR memiliki kelemahan penurunan efisiensi daya HPA.

REFERENSI

- [1] B. Tang, K. Qin, X. Zhang and C. Chen, "A Clipping-Noise Compression Method to Reduce PAPR of OFDM Signals," in *IEEE Communications Letters*, vol. 23, no. 8, pp. 1389-1392, Aug. 2019, doi: 10.1109/LCOMM.2019.2916052.
- [2] Dae-Woon Lim, Jong-Seon No, Chi-Woo Lim and Habong Chung, "A new SLM OFDM scheme with low complexity for PAPR reduction," in *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 12, no. 2, pp. 93-96, Feb. 2005, doi: 10.1109/LSP.2004.840915.
- [3] K. Anoh, C. Tanriover, and B. Adebisi, "On the optimization of iterative clipping and filtering for PAPR reduction in OFDM systems," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 12004–12013, Jun. 2017.
- [4] L. Yang, R. S. Chen, Y. M. Siu and K. K. Soo, "PAPR reduction of an OFDM signal by use of PTS with low computational complexity," in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 52, no. 1, pp. 83-86, March 2006, doi: 10.1109/TBC.2005.856727.

- [5] M. Ali, R. K. Rao, and V. Parsa, "PAPR reduction in OFDM system using new method for generating pseudo-random sequence for SLM technique," in *Proc. IEEE Can. Conf. Elect. Comput. Eng. (CCECE)*, Quebec City, Canada, , pp. 1–4, May 2018.
- [6] M.V.R. Vittal, K.R. Naidu, "A novel reduced complexity optimized PTS technique for PAPR reduction in wireless OFDM systems", *Egyptian Informatics Journal*. 18 pp. 123-131, 2017.
- [7] M. Kim, W. Lee, and D.-H. Cho, "A novel PAPR reduction scheme for OFDM system based on deep learning," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 3, pp. 510–513, Mar. 2018.
- [8] M. Zhang, M. Liu and Z. Zhong, "Neural Network Assisted Active Constellation Extension for PAPR Reduction of OFDM System," 2019 11th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/WCSP.2019.8928056.
- [9] Mestdagh, D.J.G.; Gulfo Monsalve, J.L.; Brossier, J.-M.: 'GreenOFDM: a new selected mapping method for OFDM PAPR reduction', *Electronics Letters*, 2018, 54, (7), p. 449-450, DOI: 10.1049/el.2017.4743 IET Digital Library, <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/el.2017.4743>
- [10] X. Wang, N. Jin and J. Wei, "A Model-Driven Deep Learning Algorithm for PAPR Reduction in OFDM System," in *IEEE Communications Letters*, doi: 10.1109/LCOMM.2021.3076605.