

PTS Yönteminin Klasik OFDM ve Süzgeçlenmiş OFDM Dalga Formlarının Başarımları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Betül Dumlu, İsmail Serkan Çetiner, Asuman Savaşçıhabeş, Ali Özen
Nuh Naci Yazgan Üniversitesi - HARGEM
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kayseri

betuldumlu98@gmail.com, iserkancetiner@gmail.com, ahabes@nny.edu.tr, aozen@nny.edu.tr

Özet: Yüksek tepe gücü/ortalama güç oranı (PAPR), çok taşıyıcılı (MC) haberleşme sistemlerinin en büyük dezavantajlarından biridir. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) sistemi de bu dezavantaja sahiptir. Bu nedenle OFDM'e alternatif dalga formu araştırma geliştirme çalışmaları tüm dünya da devam etmektedir. Bu bildiriye, Süzgeçlenmiş OFDM (F-OFDM) dalga formunun OFDM ile karşılaştırılabilir olarak PAPR ve bit hata oranı (BER) başarımları analiz edilmektedir. MC haberleşme sistemlerinde PAPR değerini düşürmek için literatürde birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerden Kısmi İletim Dizileri (PTS), PAPR'ın azaltılmasında en iyi metotlardan birisidir. Bu çalışmada PTS tekniğinin OFDM ve F-OFDM dalga formlarının başarımları üzerine etkisi analiz edilmektedir.

Abstract: High peak power / average power ratio (PAPR) is one of the major disadvantages of multi-carrier (MC) communication systems. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) system also has this disadvantage. For this reason, alternative waveform research and development studies to OFDM continue all over the world. In this paper, PAPR and bit error rate (BER) performances of Filtered OFDM (F-OFDM) waveform compared to OFDM are analyzed. Many methods have been proposed in the literature to reduce the PAPR value in MC communication systems. Partial Transmission Sequences (PTS), among these methods, are one of the best methods to reduce PAPR. In this study, the effect of PTS technique on the performance of OFDM and F-OFDM waveforms is analyzed.

1. Giriş

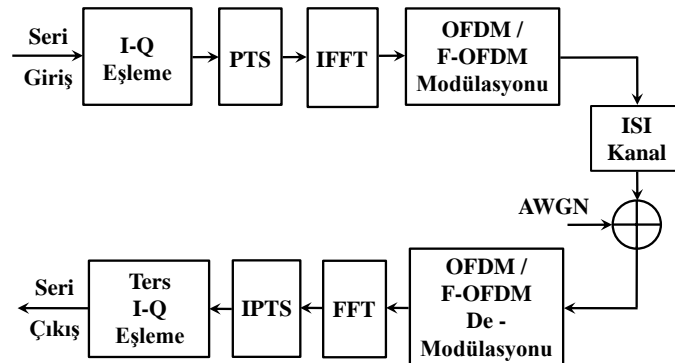
OFDM [1-4], alt-taşıyıcıları birbirlerine dik, frekans bandında düzgün dağılıma sahip ve bu alt-taşıyıcıların birbirleriyle kısmen örtüşmesine izin verilen çok taşıyıcılı bir dalga formudur. Simge süresinin uzun olması nedeniyle hızlı kanal sönmeleri karşısındaki başarımı oldukça iyidir. Tek taşıyıcılı bir sistemde, bir sönmeme ya da girişim hattın tamamının zayıflamasına neden olurken, çok taşıyıcılı bir sistemde alt taşıyıcıların sadece küçük bir yüzdesi bu durumdan etkilenmektedir [5, 6]. Buna ilave olarak ortogonal alt taşıyıcılardan dolayı spektral verimlilik yüksektir. Bütün bu avantajlarının yanında OFDM'nin uygulama alanlarını kısıtlayan en büyük dezavantajı; çok sayıda bağımsız alt taşıyıcının eklenmesi sonucunda tepe gücünün ortalama güce oranı (PAPR)'nın yüksek olmasıdır. Bu nedenle, OFDM'e alternatif dalga formu araştırma geliştirme çalışmaları hem akademik çevrede hem de endüstri çevresinde tüm dünyada devam etmektedir. OFDM'e alternatif dalga formu çalışmalarından bir tanesi süzgeçlenmiş OFDM (F-OFDM) dalga formudur. Bu çalışmada F-OFDM dalga formunun performansına etki eden farklı süzgeç yapıları dikkate alınarak bilgisayar benzetimleri yapılmaktadır ve klasik OFDM dalga formu ile karşılaştırılmaktadır.

PAPR azaltma için literatürde birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler işaret bozma teknikleri, kodlama ve serpiştirme teknikleri ve olasılıksal teknikler olarak üç ana grupta toplanmaktadır [7, 8]. İşaret bozma teknikleri, genlik kırpması [9, 10], kırpması ve filtreleme [11], tepe pencereleme, tepe çıkarma ve sıkıştırma-genleştirme olarak literatüre sunulmuştur. Bu bildiriye, iletilen OFDM ve F-OFDM dalga formlarının PAPR'ı, üçüncü kategoriyi oluşturan sembol karıştırma yöntemlerinden "Kısmi İletim Dizileri" (PTS) tekniği kullanılarak azaltılmaya çalışılmıştır. PTS tekniğinin OFDM ve F-OFDM dalga formlarının bit hata oranı (BER) ve PAPR performansları üzerine etkileri analiz edilmektedir.

Bildirinin geri kalan kısmında, 2. bölümde PAPR azaltma yöntemlerinden biri olan PTS metodu ve OFDM ile F-OFDM dalga formlarına uygulamasından bahsedilmektedir. 3. bölümde bilgisayar benzetim çalışmaları ve elde edilen sonuçlar verilmektedir. Son bölümünde ise yapılan bu çalışmanın sonuçları yorumlanmaktadır.

2. PAPR Azaltma İçin Kısmi İletim Dizileri Yöntemi

PTS tekniğinin OFDM ve F-OFDM dalga formlarına uygulanmasını gösteren blok diyagramı Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. OFDM ve F-OFDM dalga formuna PTS yönteminin uygulanması [12].

URSI-TÜRKİYE 2021 X. Bilimsel Kongresi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli

Rastgele üretilen seri giriş verileri I-Q Eşleme bloğunda ilgili modülasyon ile modüle edilir. PTS yöntemi bu modüle edilmiş sembollere uygulanır. Olasılıksal bir teknik olan PTS tekniği, giriş işaretini alt bloklara bölerek ve sembollerin fazlarında değişiklik yaparak PAPR azaltma yapar. PTS yönteminde ilk olarak Eşitlik (1)'de verilen modüle edilmiş sinyaller, rastgele ya da bir algoritmaya göre dağıtılarak V adet alt bloğa ayrılır.

$$X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}] \quad (1)$$

Bu aşamada X giriş işareti Eşitlik (2)'deki gibi yazılabilir.

$$X = \sum_{v=0}^{V-1} X^v \quad (2)$$

Her bir alt bloğa IFFT işlemi uygulandıktan sonra her bir veri elemanının faz açısı Eşitlik (3)'teki b^v faz çarpanı ile değiştirilir.

$$b^v = [b_0, b_1, b_2, \dots, b_{V-1}], \quad v = 1, 2, \dots, V - 1 \quad (3)$$

Faz çarpanları genellikle $\{1, -1, j, -j\}$ elemanlarından oluşmuş rasgele dizilerdir. PTS yönteminde son adım ise faz değişimi yapılan alt blokların tekrar bir araya getirilmesidir. PTS sonucu oluşan işaret Eşitlik (4)'teki gibi ifade edilebilir.

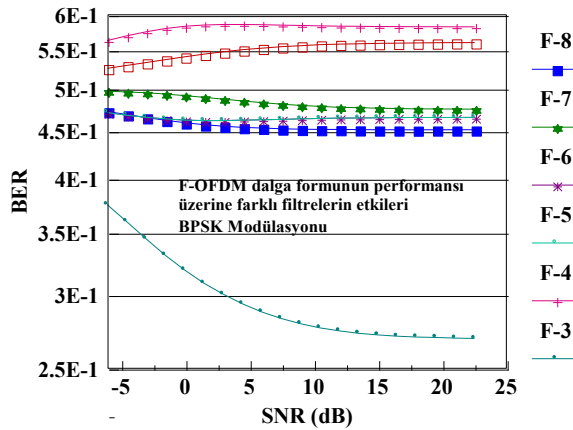
$$\hat{x}[n] = \sum_{v=0}^{V-1} b^v \text{IFFT}\{X^v\}, \quad 0 \leq n \leq V - 1 \quad (4)$$

PTS yönteminde en düşük PAPR değerini sağlayan faz çarpanı $b^{en iyi}$, sistemin alıcı kısmına yan bilgi olarak iletilmesi gerekmektedir. PTS yönteminde ideal $b^{en iyi}$ bulunması sırasında çözüm uzayının boyutu W^{V-1} olmaktadır. Burada W , alternatif faz çarpanı sayısıdır. $b^v \in \{+1, -1, j, -j\}$ için $W = 4$ olmaktadır [13]. Vericiye gönderilmeden önce düşük PAPR'lı alt bloklar tekrar toplanır ve vericiye iletilir. IFFT bloğundan sonra OFDM ve F-OFDM dalga formları üretilir. Alıcı tarafta üretilen dalga formları çözülür ve FFT işleminden sonra, IPTS bloğunda yan bilgi olarak alınan faz çarpanları ile sembollerin fazları eski haline getirilir. Ardından demodülasyon yapılır. Bu çalışmada $V = 4$ alt blok kullanılmıştır ve faz dizilerinin alıcı tarafta bilindiği kabul edilmiştir.

3. Bilgisayar Benzetim Çalışmaları

Bilgisayar benzetim çalışmaları PAPR benzetimleri ve AWGN kanal BER-SNR benzetimleri olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Benzetim sonuçları birbirinden bağımsız 1000 Monte Carlo döngüsü üzerinden, 1000 OFDM ve F-OFDM sembolünün BPSK ve 4-QAM modülasyonlarıyla modüle edilmesiyle elde edilmiştir. Karşılaştırılan tüm yöntemlerde 48 alt taşıyıcı ve 64 noktalı FFT kullanılmıştır. PTS tekniğinin F-OFDM dalga formuna uygulanmasına [14]'de de rastlanmaktadır. [14]'te 256 ve 512 noktalı FFT kullanılırken bu çalışmada 64 noktalı FFT kullanılmaktadır.

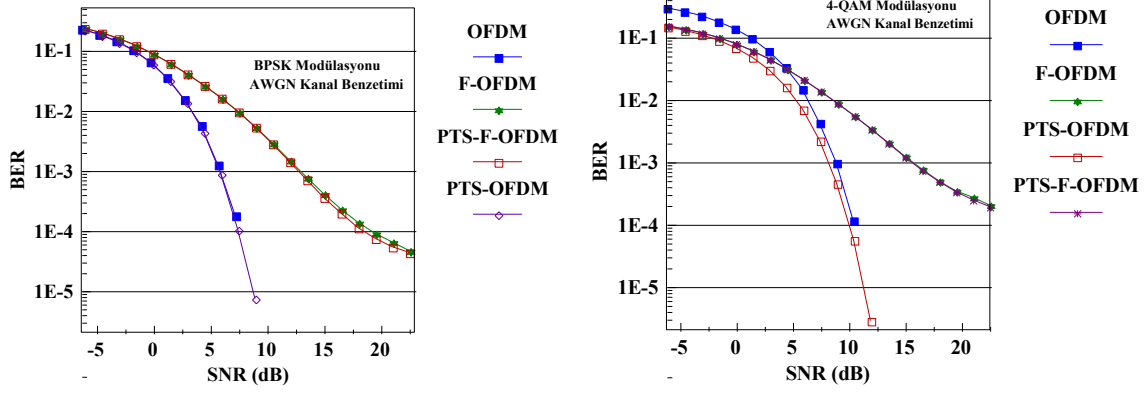
Şekil 2'de farklı süzgeç yapılarının F-OFDM dalga formu üzerine etkileri gösterilmektedir. Bu analiz için kaynak [15]'te verilen 3 dallı, 4 dallı, 5 dallı, 6 dallı, 7 dallı ve 8 dallı Mirabbasi Martin süzgeci kullanılmaktadır. Ancak, Şekil 2'deki performanslardan da görüldüğü gibi bu uzunluklu süzgeç yapılarının F-OFDM dalga formuna herhangi bir katkısının olmadığı anlaşılmaktadır. En iyi sonuçlar Roll-off faktörünün 0.995 olarak alındığı 13 dallı yükseltilmiş kosinüs (RC) süzgeci ile elde edildiğinden daha sonraki karşılaştırmalarda F-OFDM'de RC süzgeci kullanılmaktadır.



Şekil 2. Farklı süzgeç yapılarının F-OFDM dalga formu üzerine etkileri [12].

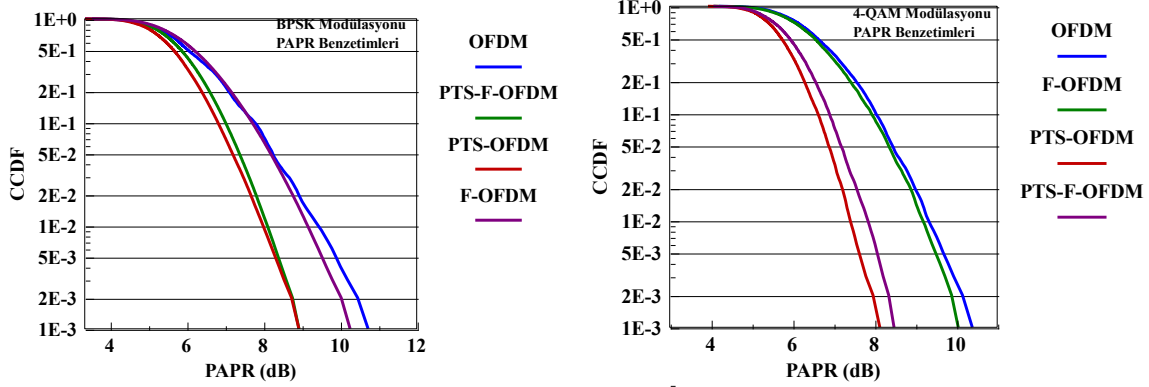
Şekil 3'te BPSK ve 4-QAM modülasyonu için OFDM ve F-OFDM dalga formları ile bunlara PTS uygulanmış PTS-OFDM ve PTS-F-OFDM dalga formlarının BER-SNR performansları verilmektedir.

Şekil 3 incelendiğinde, F-OFDM dalga formunun hem BPSK hem de 4-QAM modülasyonunda klasik OFDM dalga formundan daha kötü bir performansa sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni F-OFDM dalga formunda kullanılan süzgeç yapısının bu karşılaştırma için uygun olmaması ile açıklanabilir. Ayrıca PTS uygulanmış dalga formlarının performanslarının da yaklaşık olarak aynı olduğu Şekillerden gözlenmektedir.



Şekil 3. OFDM, PTS-OFDM, F-OFDM ve PTS-F-OFDM dalga formlarının BER-SNR başarımlarının karşılaştırılması.

Şekil 4’te BPSK ve 4-QAM modülasyonu için OFDM ve F-OFDM dalga formları ile bunlara PTS uygulanmış PTS-OFDM ve PTS-F-OFDM dalga formlarının PAPR performansları verilmektedir.



Şekil 4. OFDM, PTS-OFDM, F-OFDM ve PTS-F-OFDM dalga formlarının PAPR başarımlarının karşılaştırılması.

Şekil 4 incelendiğinde, her iki modülasyonda da PTS tekniğinin her iki dalga formunda da yaklaşık olarak 2 dB PAPR kazancı sağladığı anlaşılmaktadır. Ayrıca F-OFDM dalga formunun klasik OFDM dalga formundan daha iyi PAPR başarımına sahip olduğu gözlenmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, çok taşıyıcı haberleşme sistemlerinin en büyük dezavantajlarından birisi olan PAPR problemine bir çözüm olarak PTS tekniği klasik OFDM ve F-OFDM dalga formu üzerinde denlenmiştir. PTS tekniğinin her iki dalga formunda da yaklaşık olarak 2 dB PAPR kazancı sağladığı bilgisayar benzetim sonuçlarından gözlenmiştir. BER başarımlarında ise herhangi bir bozulmanın olmadığı anlaşılmıştır. Bu çalışma sayesinde BER başarımlarından ödün vermeden PAPR iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Bingham J.A.C., "Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come," in IEEE Communications Magazine, cilt. 28, no. 5, s. 5-14, Mayıs 1990.
- [2] Chang R.W., Gibby R.A., 1968. Theoretical study of performance of an orthogonal multiplexing data transmission scheme. IEEE Transactions on Communications, cilt. 16, no. 4, s. 529-540.
- [3] D’Andrea A.N., Lottici V., Reggiannini R., 2001. Nonlinear predistortion of OFDM signals over frequency-selective fading channels. IEEE Transactions on Communications, cilt. 49, no. 5, s. 837-843.
- [4] Banelli P., Caccioppo R., 2000. Theoretical analysis and performance of OFDM signals nonlinear AWGN channels. IEEE Transactions on Communications, cilt. 48, no. 3, s. 430-441.
- [5] Van Nee R., Prasad R., OFDM for Wireless Multimedia Communications, ARTECH HOUSE, 2000.
- [6] Heiskala J., Terry J., OFDM Wireless LANs: A Theoretical And Practical Guide, SAMS PUBLISHING, 2001.
- [7] Han S.H., Lee J.H., "An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission", IEEE Wireless Comm., cilt. 12, s. 56-65, Apr. 2005.
- [8] Yıldırım M., "Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde Zeki Optimizasyon Teknikleri ile Tepe Gücü/Ortalama Güç Oranının Düşürülmesi", Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, Ocak 2018.
- [9] O’Neill R., ve Lopes L.B., "Envelope Variations and Spectral Splatter in Clipped Multicarrier Signals," Proc. IEEE PIMRC ’95, Toronto, Kanada, Sept. 1995, s. 71- 75.
- [10] Tang B., Qin K. ve Mei H., "A Hybrid Approach to Reduce the PAPR of OFDM Signals Using Clipping and Companding", IEEE Access, Volume: 8, s. 18984 – 18994, Ocak 2020.
- [11] Wang Y.C., Luo Z.Q., 2011. Optimized iterative clipping and filtering for PAPR reduction of OFDM signals., IEEE Transactions on Communications, cilt. 59 no. 1, s. 33-37.
- [12] Dumlu B., Çok Taşıyıcı Haberleşme Sistemlerinde PAPR Azaltma Tekniklerinin İncelenmesi, Lisans Tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi - HARGEM, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Haziran 2021, Kayseri.
- [13] Tek Y.İ., PAPR Azaltma Tekniklerinin Yeni Nesil Dalga Formları Üzerinde İncelenmesi, Lisans Tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi - HARGEM, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Haziran 2020, Kayseri.
- [14] Al-Jawhar Y.A., Ramli K.N., Taher M.A., Shah, N.S.M., Mostafa, S.A. and Khalaf, B.A., Improving PAPR performance of filtered OFDM for 5G communications using PTS, ETRI Journal, vol. 43, pp. 209-220, 2020.
- [15] Mirabbasi S. and Martin K., "Design of prototype filter for nearperfect-reconstruction overlapped complex-modulated transmultiplexers", in Proc. IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems (ISCAS), cilt. 1, 2002, s. 821-824.