

MIMO-OFDM Sistemlerinde Dalgacık Dönüşümü ve PTS Tekniği ile PAPR Azaltma PAPR Reduction with Wavelet Transform and PTS Technique in MIMO-OFDM Systems

Cebraıl ÇİFLİKLİ¹, Murat TÖREN², A.Tuncay ÖZŞAHİN³

^{1,3}Elektronik Teknolojileri Bölümü, Kayseri M.Y. O,
Erciyes Üniversitesi

¹cebrailc@erciyes.edu.tr, ³atozsahin@erciyes.edu.tr

²Elektronik Teknolojileri Bölümü, Teknik Bil. M.Y. O,
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
²murat.toren@rize.edu.tr

Özet

Çok taşıyıcılı modülasyon tekniği olan OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing) ile giriş ve çıkışın çoğullandığı MIMO (Multiple Input Multiple Output) tekniğinin birleştirildiği MIMO-OFDM sistemi haberleşme teknolojisinde önemli bir tekniktir. Bu teknik yüksek frekans verimliliği, işaretler arası girişimin önlenmesi, spektral verimlilik sağlaması gibi avantajlar içerir. Ancak sistemin frekans ötelemesi ve yüksek tepe güç/ ortalama güç oranı (PAPR: Peak to Average Power ratio)gibi dezavantajları vardır. Bu çalışmada, sistem PAPR değerinde azalma sağlayan metotlardan yaygın olarak kullanıma sahip PTS (Partial Transmitting Sequence) tekniği kullanılmaktadır. Sistemde mevcut Fourier dönüşümü (Fourier Transform) yerine dalgacık dönüşümü (Wavelet Transform) eklenecek sistemin PAPR değerinde %20 civarında daha düşük oran elde etmeye çalışan bir teknik önerilmektedir.

Abstract

MIMO-OFDM is a significant technique in communication technology that incorporates OFDM that is a multicarrier modulation technique and MIMO that is a technique multiplexing input and output.

This technique has advantages such as high frequency efficiency, blocking the attempts between the signs and spectral efficiency. However, system also has disadvantages such as the frequency translation of the system and the proportion of high peak power / average peak power (PAPR). In this study, PTS technique is used that assures reduction on PAPR value. In the system, wavelet transform is used Instead of fourier transform and a new technique is proposed to reduce PAPR value at a rate of 20 percent.

1. Giriş

Günümüz kablosuz haberleşme sistemlerinin yüksek veri hızı, güvenli haberleşme ve bant genişliği verimliliği gibi gereksinimleri hızla artmaktadır. Bu gereksinimlerin karşılanmasında frekans seçili sönmülemeli kanallarda OFDM sistemleri önerilen bir tekniktir[1]. OFDM sistemlerde yüksek

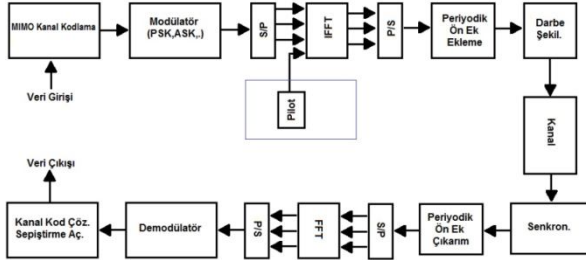
veri iletim oranı bant genişliği kazancı v.b. avantajları vardır. Ayrıca OFDM sistemin etkin olarak sayısız paralel dar bant kanalları sağlaması ve MIMO sistemlerle birlikte kullanılması iletilen veri oranının artırılması, çeşitlilik kazancı ve sistem kapasitesinin artırılmasını sağlar[3,4]. Böylece MIMO-OFDM sistemler yüksek veri oranlı haberleşme sistemleri için anahtar teknoloji olarak değerlendirilmekte ve Digital subcarrier Lines (DSL), IEEE802.11, IEEE802.16 ve IEEE 802.15.3a ve 4G teknolojisinde uydu bağlantısında kullanılmaktadır[2]. MIMO-OFDM sistemlerde bu avantajların yanı sıra dezavantajlar da vardır. Bunlardan en önemli olanlarından birini oluşturan PAPR sorununun çözümü için birçok teknik önerilmektedir [5-7]. Bu teknikler iki grupta incelenebilir. Birinci grupta; işaret bozma teknikleri (kırpma, tepe pencereleme v.b) yer alır. Örneğin bu tekniklerden kırpma tekniği PAPR azaltılmasında en basit tekniktir. Ancak teknik bant dışı yayılım ve girişim nedeniyle işareti bozmaktadır[8]. İkinci grupta; işaret karıştırma teknikleri (kod tabanlı blok kodlama, olasılıksal seçici eşleme ve kısmi iletim dizileri) yer almaktadır. Bu tekniklerden blok kodlama tekniğinde PAPR azaltılırken veri oranı da azalmakta [9] ve sinyal enerjisi artmaktadır. Bu grup içerisindeki olasılıksal teknikler olan seçici eşleme (SLM) ve kısmi iletim dizileri (PTS) işaretlerde herhangi bir bozulma ve enerji artışına yol açmamaktadır. Bu çalışmada PAPR azaltma tekniği PTS [10], MIMO-OFDM sisteme uygulanmaktadır. MIMO-OFDM sistem içerisindeki Fourier blokları yerine sisteme dalgacık bloğu eklenerek sistemdeki %20 civarında elde edilen PAPR azaltımı sonuçları gözlenmektedir.

2. MIMO-OFDM ve PAPR

Haberleşme sistemlerinde yoğun olarak kullanılmaya başlanan MIMO-OFDM sistemleri çoğullama sistemi, MIMO ve bu çoğullamanın modüle edildiği OFDM sisteminin birleşimidir. Bu sistemdeki MIMO yapısı çok yollu saçılım ortamlarındaki antenlerin uzamsal olarak ayrıştırılması ile elde edilen çeşitlilik avantajına sahiptir. MIMO sistemler hem verici hem de alıcı tarafta anten dizilerine bulundurulur. Bunun amacı

işaretlerin düzgün iletilip karşı taraftan alınmasında birçok alıcı tarafından algılanması önerisine dayanmaktadır [10,11]. MIMO sistemler, çeşitlilik kazancı, kapasite kazancı ve işaret sönümlerinin giderilmesinde önerilen bir teknik olmaktadır.

Bu teknik ile OFDM modülasyon sistemi birleştirilerek Şekil 1 'de blok diyagramı gösterilen sistem ile performans artırılmaya çalışılmaktadır.



Şekil 1: MIMO-OFDM Blok Diyagramı

OFDM sistem içerisindeki iletilen işaretler ifade edilecek olursa, N uzunluklu veri bloğunda k.alt taşıyıcı veri bloğu;

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

şeklinde tüm alt taşıyıcılara karşılık gelecek biçimde oluşturulur[2].

Her X_k işareti, $f_k (k = 0, \dots, N - 1)$ alt taşıyıcılar arası frekans aralığında modüle edilir, eğer $f_k = k\Delta f$ ise N alt veri blokları dikgendir (ortogonal). Burada $f_k = \frac{1}{T}$ ve T OFDM işaret periyodudur[10].

Kompleks temel bant OFDM işareti $x(t)$ şu şekilde ifade edilir.

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi f_k t}, t \in [0, T] \quad (2)$$

Buradaki X kompleks bir işaret vektörü olarak frekans düzleminde ters ayrık Fourier dönüşümüyle (Inverse Discrete Fast Fourier: IDFT) ayrık zamanlı bir işaret olarak $x=[x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]$ şeklinde iletilir.

$$x = IDFT(X) \quad (3)$$

Bu iletilen işaretlerin tüm alt taşıyıcılarının istatistiksel bağımsız olmasından dolayı işaret örnekleri zaman düzleminde kompleks Gaussian dağılımlı ve yüksek genlik değerlidir[10].

OFDM sisteminde oluşan yüksek genlik değeri sistemde dezavantaj oluşturan PAPR meydana getirir. OFDM sistemde iletilen işaret $x(t)$ üzerindeki PAPR değeri şu şekilde ifade edilir;

$$PAPR\{x(t)\} = \frac{\max|x(t)|^2}{E\{|x(t)|^2\}} \quad (4)$$

$E[\cdot]$ beklenti operatörüdür. PAPR ifadesi ayrık zamanlı olarak ifade edilirse,

$$x(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi \frac{kn}{NL}}, n=0, \dots, N-1 \quad (5)$$

şeklinde. Burada L yüksek hızlı örnekleme faktörüdür (oversampling). L ile ölçeklenen NL boyutlu bir IDFT matrisi

Q_L ile gösterilirse (3) de verilen eşitlik şu şekilde de yazılabilir:

$$x = Q_L(X) \quad (6)$$

Bu durumda PAPR eşitliği de şu şekilde ifade edilir.

$$PAPR\{x\} = \frac{\max_{0 \leq k \leq N-1} |x(t)|^2}{E\{|x_k|^2\}} \quad (7)$$

PAPR rastgele değişkenli değer aldığından, yaklaşık değeri tümleyen toplamsal dağılım fonksiyonu (complementary cumulative distribution function: CCDF) ile ifade edilir.

CCDF, $PAPR_0$ eşik değerini aştığında OFDM işaretindeki PAPR değeri şu şekilde ifade edilir.

$$CCDF(PAPR(x(n))) = Pr(PAPR(x(n))) > PAPR_0 \quad (8)$$

Bağımsız N veri bloğuna bağlı olarak tek girişli- tek çıkışlı (single input- single output: SISO) OFDM işarete PAPR CCDF şu şekilde ifade edilir.

$$P = Pr(PAPR(x(n)) > PAPR_0) = 1 - (1 - e^{-PAPR_0})^N \quad (9)$$

Bu denklem MIMO-OFDM sistem için düzenlenirse, i. iletilen antendeki PAPR değeri $PAPR_i$ için

$$Pr(PAPR_{MIMO-OFDM} > PAPR_0) = 1 - (1 - e^{-PAPR_0})^{M_i N} \quad (10)$$

şeklinde. Burada $M_i N$ zaman düzleminde örneklerin sayısını ifade eder.

Burada SISO-OFDM ve MIMO-OFDM sistemlerin PAPR ifadeleri ele alındığında yapılan çalışmalarda MIMO-OFDM sistemlerin daha iyi performans gösterdikleri literatürdeki çalışmalarda gözlenmektedir[10].

3. PTS (Partial Transmitting Sequence)

PAPR Azaltma Tekniği

PTS tekniği [11] , ilk olarak S.H.Müller ve J.B.Huber tarafından önerilmiştir [12]. Bu teknikte N veri girişi bloğu işaretleri ayrı ayrı alt bloklara bölünür. Her alt bloğun alt taşıyıcısı alt blok için faz faktörü ile ağırlıklandırılır. Faz faktörü toplam işaretin PAPR değerini en küçük yapacak şekilde seçilir. PTS tekniğinin blok diyagramı Şekil 2 'de gösterilmektedir.

$$X_v = [X_{v,0}, X_{v,1}, \dots, X_{v,N-1}]^T \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (11)$$

$$\sum_{v=1}^V X_v = X \quad (12)$$

PTS tekniğinde [13,14] X giriş veri bloğu V kadar alt bloğa ayrılır. Alt bloklar zaman düzleminde PAPR'ı minimum yapacak şekilde birleştirilir. X_v 'in L kez örneklemlenmiş zaman düzleminde sinyali,

$$x_v = [x_{v,0}, x_{v,1}, \dots, x_{v,NL-1}]^T \cdot x_v, \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (13)$$

Bu ifade (L-1)N sıfırlar ile sıralanan X_v NL uzunluğunun IDFT alınarak elde edilir. Bu kısmi iletim dizisi olarak ifade edilir. Kompleks faz faktörü;

$$b_v = e^{j\theta v}, v = 1, 2, \dots, V \quad (14)$$

b_v PTS 'leri birleştirmek için tanımlanır. Faz faktörleri ise şu şekildedir;

$$b = [b_1, b_2, \dots, b_V]^T \quad (15)$$

Zaman düzleminde birleştirilen işaretler ise şu şekildedir;

$$x'(b) = \sum_{v=1}^V b_v \cdot x_v \quad (16)$$

Burada; $x'(b) = [x_0'(b), x_1'(b), \dots, x_{NL-1}'(b)]^T$ dir. Burada amaç, PAPR değerini en aza indirecek faz faktör setini bulmaktır. PAPR değerinin en az olması,

$$\max_{0 \leq k \leq NL-1} |x_k' b| \quad (17)$$

ifadesinin en küçük değeri olmasıyla ilişkilidir. Genel olarak, faz faktörü seçimi karmaşıklığın azalması için sonlu eleman kümesiyle sınırlıdır. Faz faktörü kümesi P, W izin verilen faz faktör sayısı ise ;

$$P = \{e^{j2\pi l/W} | l = 0, 1, \dots, W - 1\} \quad (18)$$

Şeklinde ifade edilir. Hiçbir performans kaybı olmaması için $b_1=1$ alınabilir. Böylece, (m-1) faz faktör için detaylı arama yapılmalıdır. Sonuç olarak W^{m-1} faz faktör kümeleri optimum faz faktör kümesi için gereklidir. Arama karmaşıklığı, V alt blok sayısı ile beraber katlanarak artar. Her veri bloğu için PTS, V IDFT işlemine ihtiyaç duyar ve yan bilgi sayısı [y], y 'yi aşmayacak en küçük sayı olan $\log_2 W^{m-1}$ dir [15]. PAPR azaltmada kullanılan bu teknik için burada anlatılanlardan anlaşılacağı üzere azaltma V alt blok sayısına ve W izin verilen faz faktör sayısına bağlıdır. Bu çalışmada da bu parametreler kullanılarak incelemeler yapılmaktadır.

4. Dalgacık Dönüşümü

(Wavelet Transform: WT)

Dalgacık dönüşümü bu çalışmada FFT (Fast Fourier Transform) bloğunun yerine kullanılmak üzere tercih edilmiştir. Tercih edilme sebebi ise, FFT bloğunun gelen işaret için sadece frekans düzleminde sonuç oluşturmakta, oysa DWT (Discrete Wavelet Transform) ise işarete hem zaman hem de frekans düzleminde sonuç oluşturmaktadır. Dalgacık teorisinin çok çözünürlüklü analizinde, dalgacık ve ölçekleme fonksiyonlarının temsil edilmesini yüksek geçiren filtreler $h[m]$ ve alçak geçiren filtreler $g[m]$ katsayıları sağlar. Yüksek geçiren filtreler dalgacık fonksiyonuyla ilgilidir, alçak geçiren ise ölçekleme fonksiyonuyla ilgilidir. Alıcı kısımda işaret elde edilirken bu filtrelerden geçer. Bu nedenle, dalgacık dönüşümü kolayca ayrık zamanlı filtreler kullanılarak uygulanabilir[5]. Dalgacık dönüşümünün matematiksel ifadesi şu şekildedir.

$$\psi_{k+1,2p-1}[m] = \sqrt{2} \sum_m' h[m'] \psi_{k,p}[m-2^k m'] \quad (19)$$

$$\psi_{k+1,2p}[m] = \sqrt{2} \sum_m' g[m'] \psi_{k,p}[m-2^k m'] \quad (20)$$

Burada $\psi_{k,p}[m]$, k'inci düzeyde p'inci dalgacık paket fonksiyonunu gösterir[16]. IFFT yerine işaret IDWT dönüşümüyle iletildiğinde iletilen işaret şu şekilde ifade edilir;

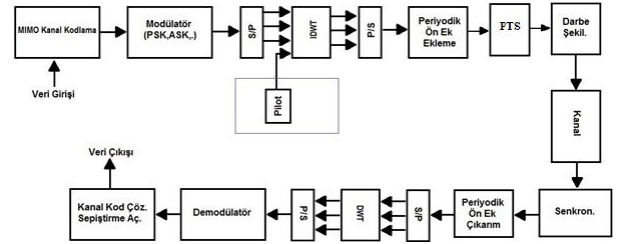
$$x = IDWT(X) \quad (21)$$

$$x(t) = \sum_{p=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{\infty} X(l) \psi_{k,p}^{sym}(t - lN) \quad (22)$$

Burada, p,l konum verileri endeksi, $\psi_{k,p}^{sym}$ p. Alt kanal için dalgacık paket fonksiyonu, X(l) ise veri işaretlerini ifade eder.

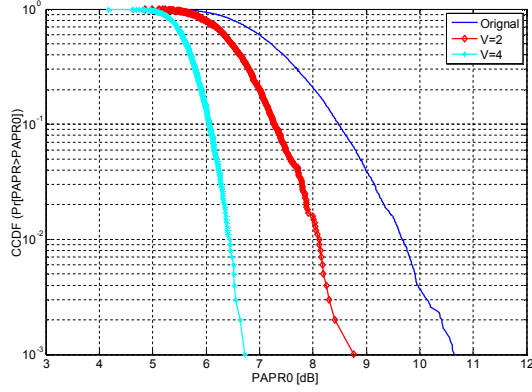
4. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada çoklu-giriş çoklu-çıkış dikgen frekans bölmeli çoğullama (MIMO-OFDM) sistemin verici tarafındaki ters hızlı fourier dönüşümü (IFFT) kısmı çıkarılarak sisteme ters dalgacık dönüşümü (IDWT) kısmı eklenerek analiz yapılmıştır. Aynı şekilde alıcı kısmında da çoklu-giriş çoklu-çıkış dikgen frekans bölmeli çoğullama (MIMO-OFDM) sistemin alıcı kısmındaki hızlı fourier dönüşümü (FFT) kısmı çıkarılarak yerine dalgacık dönüşümü (DWT) kullanılarak analiz yapılmıştır.

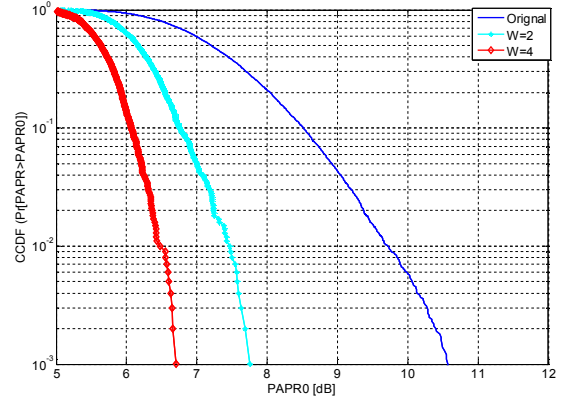


Şekil 5: Simülasyonda Kullanılan MIMO-OFDM Modeli

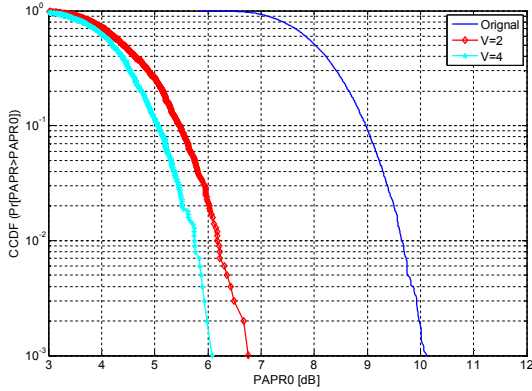
Kısmi iletim dizileri tekniği kullanılarak çoklu-giriş çoklu-çıkış dikgen frekans bölmeli çoğullama (MIMO-OFDM) sisteminde ortalama güç/ tepe güç oranı (PAPR) azaltılmasında 'V' alt blok sayıları değiştirilerek elde edilen sonuçlarla aynı sisteme dalgacık dönüşümü uygulanınca elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Burada 'V' değerlerine (V=2,4) karşılık gelen PAPR değerleri kıyaslandığında dalgacık dönüşümünün daha iyi sonuç verdiği incelenmektedir.



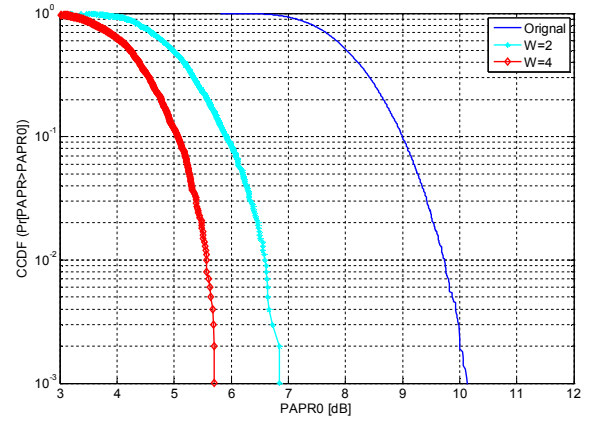
Şekil 6: Farklı V (alt blok sayısı) değerlerinde MIMO-OFDM Sistemine PTS Metodu ile PAPR Azatlımı Grafiği



Şekil 8: Farklı W (farklı faz) Değerlerinde MIMO-OFDM Sistemine PTS Metodu ile PAPR Azatlımı Grafiği



Şekil 7: Farklı V (alt blok sayısı) değerlerinde MIMO-OFDM Sistemine Dalgacık Dönüşümü eklenerek PTS Metodu ile PAPR Azatlımı Grafiği



Şekil 9: Farklı W (farklı faz) değerlerinde MIMO-OFDM Sistemine Dalgacık Dönüşümü Eklenerek PTS Metodu ile PAPR Azatlımı Grafiği

Grafiklerden görüldüğü üzere V=2 değerinde normal IFFT için PAPR değeri yaklaşık 8.7 iken IDWT için değer 6.7 civarındadır. Aynı şekilde V=4 de IFFT için PAPR değeri yaklaşık 6,8 iken IDWT de 6.1 civarındadır.

PTS tekniği kullanılarak 'V' alt blok sayısı sabit olmak üzere (V=4) 'W' alt faz sayısının farklı değerlerine göre (W= 2,4) PAPR azatlımı incelenmiş ve IDWT eklemenin IFFT ye göre daha iyi sonuç verdiği incelenmiştir.

Grafiklerden görüldüğü üzere MIMO-OFDM sistemde PAPR azaltmak için sistemde kullanılan IFFT/FFT dönüşümü Şekil 8 'deki gibi bir PAPR değerleri oluşturmaktadır. Sisteme IFFT/FFT yerine IDWT/DWT kullanıldığında ise elde edilen PAPR değerleri ise Şekil 9'da görülmektedir. Şekillerden görüldüğü üzere IDWT/DWT, IFFT/FFT ye bakarak daha küçük PAPR değerleri oluşturmaktadır. Örneğin W=2 için IFFT/FFT sisteminde PAPR=7.8 civarında iken IDWT/DWT sisteminde PAPR=6.9 civarındadır, W=4 için IFFT/FFT sisteminde PAPR=6.7 civarında iken IDWT/DWT sisteminde PAPR=5.8 civarındadır.

5.Sonuç

Çoklu-giriş çoklu-çıkış dikgen frekans bölmeli çoğullama (MIMO-OFDM) sisteminde dezavantajlardan biri olan tepe güç/ ortalama güç oranı (PAPR) azaltmak için, normal sistemde kullanılan frekans düzlemindeki değerler konusunda bilgi veren hızlı fourier dönüşümü (IFFT/FFT) ile hem frekans hem de zaman düzleminde bilgi veren dalgacık dönüşümü (IDWT/DWT) kullanımı bilgisayar ortamında simüle edilmiştir. Sonuçlar kıyaslanmış ve dalgacık dönüşümünün

Fourier dönüşümüne oranla %20 civarında daha az PAPR değeri oluşturduğu gözlenmiştir.

Reduction Scheme for OFDM,” *Proc. IEEE PIMRC '97*, Helsinki, Finland, Sept. 1997, pp. 1090–94

6.Kaynaklar

- [1] Han S. H. , Lee J.H. , “PAPR Reduction of OFDM Signals Using a Reduced Complexity PTS Tecniqe”, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol.11, No.11, November 2004.
- [2] Pandurangan M. , Perumal D. , “Modified PTS with FECs for PAPR Reduction in MIMO-OFDM System with Diffrenet Subblocks and Subcarriers”, *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 8, Issue 4, No 2, July 2011.
- [3] Zhefeng Li ve Xiang-Gen Xia, “PAPR Reduction for Space-Time-Frequency Coded MIMO-OFDM Systems using Chu Sequences”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.7, No. 4, April 2008, pp. 1195-1202.
- [4] Jing Gao, Jinkuan Wang ve Yun Wang, “A Low Complexity PAPR Reduction technique for STBC MIMO-OFDM System”, *Proceedings of International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Shanghai, September 2007, pp.109-112.
- [5] Gesbert, D. et al, “From theory to practice: An overview of MIMO space-time coded wireless systems”, *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, Vol. 21, No.3, April 2003
- [6] Ramasama, V.C. , *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, Report, 2000.
- [7] Molisch F. , Steinbauer M. , Toeltsch M. , Bonek E. ,ve Thoma R. ,”Capacity of MIMO systems based on measured wireless channels,” *IEEE J.Select Areas Commun*. Vol 20, no 3 pp. 561-569,2002.
- [8] X. Li ve L. J. Cimini Jr., “Effect of clipping and filtering on the performance of OFDM,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, pp. 131–133, May 1998.
- [9] V. Tarokh ve H. Jafarkhani, “On the computation and reduction of the peak-to-average power ratio in multicarrier communications,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, pp. 37–44, Jan. 2000.
- [10] Fitzpatrick J. , *Simulation of a Multiple Input Multiple Output (MIMO) Wireless System*, Dublin City University School Of Electronic Engineering, pp 3-10, April 2004
- [11] Gesbert, D. et al, “From theory to practice: An overview of MIMO space-time coded wireless systems”, *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, Vol. 21, No.3, April 2003
- [12] Shahparan, A.H.M. ,”Numerical Performance Evaluation of PAPR Reduction Tecniques in MIMO-OFDM Wireless Communication Systems”, *Master Thesis*,Noakhali Science and Tecnology University, Bachelor of Science in Computer and Telecommunication Engineering, Sonapur- Noakhali-3802, November 2010.
- [13] S. H. Müller ve J. B. Huber, “OFDM with Reduced Peak-to-Average Power Ratio by Optimum Combination of Partial Transmit Sequences,” *Elect. Lett.*, vol. 33, no. 5, Feb. 1997, pp. 368–69.
- [14] S. H. Müller ve J. B. Huber, “A Novel Peak Power Reduction Scheme for OFDM,” *Proc. IEEE PIMRC '97*, Helsinki, Finland, Sept. 1997, pp. 1090–94
- [15] Han S. H. ,Lee J.H. , “An Overview of Peak-to-Average Power Ratio Reduction Techniques for Multicarrier Transmission”, *IEEE Wireless Communications*, pp, 56-65, April 2005.
- [16] Baro, M., Ilow, J., “PAPR reduction in OFDM using wavelet packet pre-processing”, *Proc. of the 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2008)*, pp.195-199, 2008.