

Doğrudan dizili kod bölme çoklu erişim iletişim sistemlerinin Weibull sönümlü kanallardaki resim iletim başarımları

Image transmission performance of direct sequence code division multiple access communication systems in Weibull fading channels

Yasin KABALCI* 

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye.
yasinkabalcı@nigde.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 05.01.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 17.07.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.09815

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Yer ve zamandan bağımsız iletişim kurma talebi günümüzün vazgeçilmez ihtiyaçlardan birisi haline gelmiştir. Kullanılan mevcut iletişim sistemleri değerlendirildiğinde, sağladığı avantajlar nedeniyle çok büyük ölçüde kablosuz sistemlerin tercih edildiği görülmektedir. Doğrudan dizili kod bölme çoklu erişim (DD-KBÇE) iletişim sistemlerinin Weibull sönümlü kanallar üzerinden resim iletim başarımları literatürde ilk kez bu çalışmada araştırılmıştır. Weibull sönümlü kanal modeli bina içi ve bina dışı ortamlarda çok yollu yayılıma sahip sönümlemeli kanalların tanımlanabilmesi için önerilmiş uygun bir kanal modelidir. İletişim sisteminin analizinin sağlanabilmesi için Walsh-Hadamard yayma kodlarını kullanan bir DD-KBÇE sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Başarım analizleri hem farklı kullanıcı sayıları için hem de farklı kanal parametreleri için gerçekleştirilerek kapsamlı analizler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Doğrudan dizili kod bölme çoklu erişim, Weibull sönümlü kanal, Resim iletimi, Walsh-Hadamard kodları

Abstract

Requirement of place and time independent communication has become one of the indispensable necessities of today. When the utilized communication systems are considered, it is shown that wireless communication systems are greatly preferred owing to presented advantages. Image transmission performances of the direct-sequence code division multiple access (DS-CDMA) systems over Weibull fading channels are examined for the first time in this study. The Weibull fading channel model is an appropriate channel model to characterize multipath fading channels for both indoor and outdoor environments. In order to analyze the communication system, design of a DS-CDMA communication system that utilizes the Walsh-Hadamard spreading codes are conducted. Detailed performance analyses are presented for both different user numbers and various channel parameters.

Keywords: Direct sequence code division multiple access, Weibull fading channel, Image transmission, Walsh-Hadamard Codes

1 Giriş

İletişim sistemlerinde bant genişliğinin sınırlı olmasından dolayı çoklu kullanıcılar aynı frekans bandını paylaşmak zorundadırlar. Bu durum bazı örnekleri; hücresel telefonlar, taksi şirketleri için radyo dağıtım büroları ve hava trafik kontrol iletişim sistemleridir. Spektrumu verimli şekilde paylaşmanın birçok yolu bulunmaktadır ve bu yolların her birinin avantaj ve dezavantajları mevcuttur [1]-[4]. Her bir kullanıcıya toplam bant genişliğinin bir bölümünü tahsis eden çoğullama sistemleri Frekans Çoğullamalı Çoklu Erişim (Frequency-division Multiple Access, FDMA) teknikleri olarak adlandırılmaktadır. Zaman Bölme Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access, TDMA) sistemlerinde ise her kullanıcıya belirli bir süre boyunca tüm bant genişliğini kullanma imkanı sunulmaktadır. Mobil İletişim için Küresel Sistemler (Global Systems for Mobile, GSM) gibi iletişim sistemlerinin ilk uygulamalarında FDMA, TDMA ve FDMA/TDMA birleşimi sistemler kullanılmıştır [4]-[7]. Bir diğer önemli çoğullama tekniği ise oldukça popüler olan Kod Bölme Çoklu Erişim (Code Division Multiple Access, CDMA) sistemidir. KBÇE tekniği bazı mevcut hücresel iletişim sistemlerinde kullanılan çoğullama yaklaşımıdır. KBÇE sistemlerinde kullanıcılar, yayılı spektrum tekniği sayesinde tüm spektrumu aynı anda kullanabilirler.

Yayı spektrum tekniğinin girişim zayıflatma özelliği, çoklu kullanıcıların aynı spektrumu aynı anda işgal etmelerine izin verir [4],[5]. Doğrudan dizili (DD) ve frekans atlamalı (FA)

olmak üzere iki temel yayılı spektrum tekniği bulunmaktadır. Ayrıca bu iki tekniğin farklı birleşimlerini kullanan karma teknikler de mevcuttur. DD yayma tekniğinde mesaj işareti, çok daha büyük bir bant genişliğine sahip olan ve bilinen bir işaret ile çarpılmaktadır. FA yayma tekniğinde ise iletilen işaretin merkez frekansı sözde rastgele modeller ile değiştirilmektedir [4],[5].

Doğrudan dizili modülatörler dar bantlı bir işareti çok daha geniş bir banda yaymak için işlem gerçekleştirirler. Bu yaklaşımda her bir kullanıcıya, kullanıcının işaretinin diğer kullanıcıların işaretleri ile ortogonal (dikgen) olmasını sağlayacak benzersiz bir yayma kodu tahsis edilir. İşaretin yayılması ile dar bantlı olan işaretin kanal bozulmalarına ve girişimlere karşı olan hassasiyeti azaltılmaktadır. Bu özellik, aynı zamanda artan spektrum yeniden kullanım talepleri için avantajlar sunmaktadır. İletilen işaretin enerjisi aynı kalırken işaret çok büyük bant genişliğine yayıldığından dolayı işaret spektrumu genellikle alıcı gürültü eşliğinin altında kalmaktadır. Bu yüzden işaretin yapısı hakkında bilgisi olmayan herhangi bir alıcı tarafından yayılmış olan işaret gürültü benzeri bir işaret olarak değerlendirilmektedir. Bu ise işaretin farklı kişiler tarafından tespit edilmesini ve çözülmesini zorlaştırmaktadır. Çoklu yol yayılımı girişimin bir türü olarak değerlendirildiği için girişime karşı artan tolerans aynı zamanda çoklu yol yayılımına karşı artan tolerans anlamına da gelmektedir. Dördüncü avantaj olan artan mesafe yeteneği ise Δt zamanlama hatasının işaret bant genişliği ile ters orantılı olmasından kaynaklanmaktadır. Zamanlama hatası doğrudan mesafe hatası

ile ilgilidir. Bu özellik bazı yayılı spektrum tekniklerine üçgenleme (nirenge) yöntemi ile mesafe veya terminal yerini ölçme izni vermektedir [4-7].

Bu çalışmada DD-KBÇE iletişim sistemlerinin Weibull sönümlü kanallar üzerinden resim iletimi başarımları araştırılmıştır. Tasarlanan DD-KBÇE iletişim sisteminde yayma kodu olarak yüksek başarımlı sağlanmasından dolayı Walsh-Hadamard kodları tercih edilmiştir. Ayrıca başarımlı analizleri hem farklı kullanıcı sayıları için hem de farklı kanal parametreleri için gerçekleştirilmiştir.

2 Doğrudan dizili modülasyonda yayma işlemi

İkili faz kaydırmalı anahtarlama (Binary Phase Shift Keying, BPSK) modülasyonu işaretin bir sembolü, karmaşık zarf formunda aşağıdaki gibi ifade edilebilir [4],[5]:

$$\tilde{s}(t) = b\sqrt{E_b}g(t) \quad 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

Burada, b veri sembolünü, $g(t)$ sembol biçimlendirme fonksiyonunu ve T sembol süresini göstermektedir. BPSK modülasyonu düşünüldüğünde b veri sembolünün değeri ya +1 ya da -1 olacaktır. Eğer sembol biçimlendirme fonksiyonunun dikdörtgenel olduğu kabul edilirse,

$$g(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{T}}, & 0 \leq t \leq T \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2)$$

olacaktır. Eğer iletim için dikdörtgenel darbe şekilleri kullanılırsa iletilen işaretin enerji spektral yoğunluk fonksiyonu matematiksel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$S_g(f) = T \text{sinc}^2(fT) \quad (3)$$

Bu durumda işaretin etkin bant genişliği T sembol periyodu aracılığıyla belirlenebilir. Şekil 1'in üst sağ kısmında görülen işaret dikdörtgen darbe şekillendirmeli geleneksel BPSK spektrumudur. DD işaret için ise sembol biçimlendirme fonksiyonu Q dikdörtgenel darbeler dizisi olacak şekilde seçilmektedir ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$g(t) = \sum_{q=1}^Q c(q)g_c(t - qT_c) \quad (4)$$

Burada, $c(q)$ yayma dizisini, T_c ise kırmık süresini göstermektedir. Sabit Q değeri Eşitlik (4)'teki toplam işleminin üst limitini gösteren yayma faktörüdür ve genellikle $QT_c = T$ ilişkisini sağlar. $g_c(t)$ kırmık şekli ise sıklıkla Eşitlik (5)'teki gibi dikdörtgenel kabul edilir.

$$g_c(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{T_c}}, & 0 \leq t \leq T_c \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (5)$$

Burada, ölçkleme $g(t)$ darbesindeki birim enerjiyi sağlamak için seçilir. Sonuç olarak DD modülasyonunda Eşitlik (2)'deki dikdörtgenel darbe yerine kırmık olarak adlandırılan daha kısa süreli dikdörtgenel darbeler dizisi kullanılmaktadır. Kırmıklar alıcı tarafında bilinen +1 ve -1'lerin sözde rastgele dizileridir ve genellikle sembol periyotuna eşit tekrarlamaya periyotlarına sahiptirler. Şekil 1'de 4 uzunluklu yayma dizilerinin veri dizilerine uygulanması gösterilmektedir [4],[5].

2.1 Yayma kodları

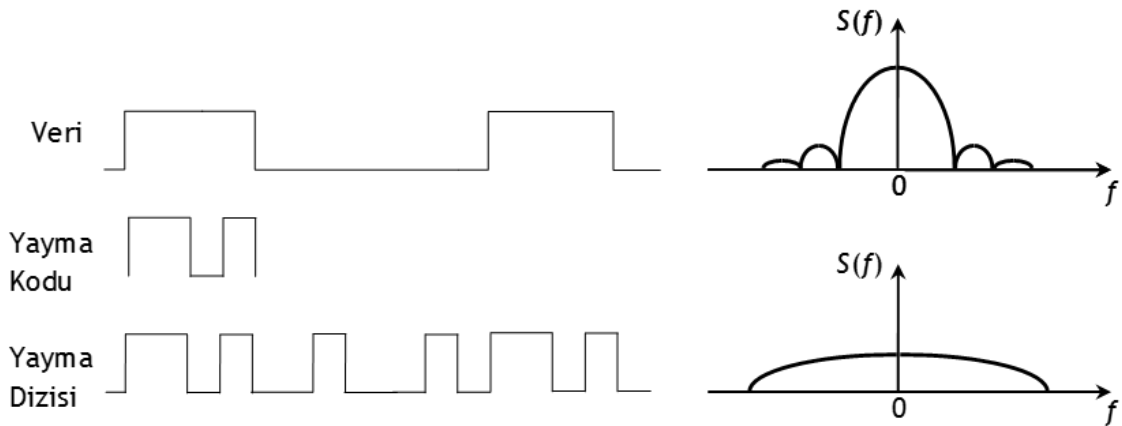
Çoğullama tekniklerinde aynı kanalı paylaşan kullanıcıların birbirlerini etkilememeleri için ortogonal olmaları gerekmektedir. Bu ortogonaliteyi sağlanabilmesi için her bir k kullanıcıya matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilen farklı sembol biçimlendirme fonksiyonu atanır [4],[5].

$$g_k(t) = \sum_{q=1}^Q c_k(q)g_c(t - qT_c) \quad 0 \leq t \leq T \quad (6)$$

$c_k(q)$ dizisi k . kullanıcı için yayma kodu veya imza dizisi olarak isimlendirilmektedir. $g_j(t)$ ve $g_k(t)$ kullanıcılarının farklı τ zaman kaymaları için yaklaşık ortogonallikleri çapraz özilinti fonksiyonu aracılığı ile

$$R_{jk}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} g_j(t + \tau)g_k^*(t)dt \approx 0 \quad (j \neq k) \quad (7)$$

şeklinde incelenebilmektedir. Burada $g_k^*(t)$, işareti $g_k(t)$ işaretinin eşleniğini ifade etmektedir. Eşitlik (7) yaklaşık ortogonal yayma dizilerinin tasarlanabilmesi için temel gereksinimdir. Ortogonalite ilişkilerini tam olarak sunan önemli bir yayma kodu türü Walsh-Hadamard dizileridir [8]. Bu dizilerin genel ifadesi aşağıdaki eşitlikteki gibi tanımlanabilir.



Şekil 1: Zaman ve frekans eksenlerinde dört kat yayma işlemi [4].

$$\mathbf{H}_n = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{n-1} & \mathbf{H}_{n-1} \\ \mathbf{H}_{n-1} & -\mathbf{H}_{n-1} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Eşitlik (8) ile verilen genel matris ifadesindeki geçmiş değerli alt matrislerin (\mathbf{H}_{n-1}) tanımlanabilmesi için, öncelikle aşağıdaki Eşitlik (9)'da verildiği gibi bir \mathbf{H}_1 matrisi tanımlanmalıdır. Ardından \mathbf{H}_1 matrisine bağlı olarak \mathbf{H}_2 (Walsh-Hadamard) matrisi Eşitlik (10)'daki gibi tanımlanabilmektedir. Eşitlik (10) ile elde edilen matrisin her bir satırı diğer üç satıra göre ortogondur.

$$\mathbf{H}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{H}_2 = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 & \mathbf{H}_1 \\ \mathbf{H}_1 & -\mathbf{H}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Yayma kod dizisinin boyutu artırılmak istendiğinde kullanılacak diğer matrisler ise tekrarlamalı olarak bu şekilde tanımlanabilmektedir. Walsh-Hadamard kodlarının çapraz ilintileri çok iyi olduğu için türetilen tüm kodlar birbirleri ile ortogondur. Bu özelliğinden dolayı Walsh-Hadamard kodları diğer yayma kodlarından daha iyi başarımlar sergilerler [8]. Walsh-Hadamard kodların bu üstünlüğünden dolayı bu çalışmada yayma kodları olarak Walsh-Hadamard kodlarının kullanımı tercih edilmiştir.

3 Weibull sönümlü kanal modeli

İstatistiksel bir dağılım modeli olan Weibull, bina içi/bina dışı ortamlarda çok yönlü sönümlenmeyi tanımlamak için önerilmiştir. Bu dağılım modeli çok yönlü sönümlenmeyi iyi şekilde tanımlayabilme özelliğinden dolayı kablosuz iletişim sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır [8]-[15]. Weibull sönümlü kanal şartlarındaki bir iletişim sisteminde alıcı birime ulaşan $s(t)$ işareti aşağıdaki gibi tanımlanabilir [8],[11]:

$$s(t) = r(t) \exp[j(2\pi f_c t + \varphi(t) + \gamma(t))] + n(t) \quad (11)$$

Burada, f_c taşıyıcı frekansını, $\varphi(t)$ bilgi faz açısını, $\gamma(t)$ $[0, 2\pi)$ aralığında düzgün dağılımlı rastgele fazı, $r(t)$ olasılık yoğunluk

fonsiyonu ile rastgele dağılımlı Weibull değişkenlerini, $n(t)$ ise $N_0/2$ varyanslı toplamsal beyaz Gauss gürültüsünü (Additive white Gaussian noise, AWGN) göstermektedir. $r(t)$ işaretini oluşturan istatistiksel değişkenlerin, diğer bir ifadeyle Weibull dağılımının, olasılık yoğunluk fonksiyonu ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

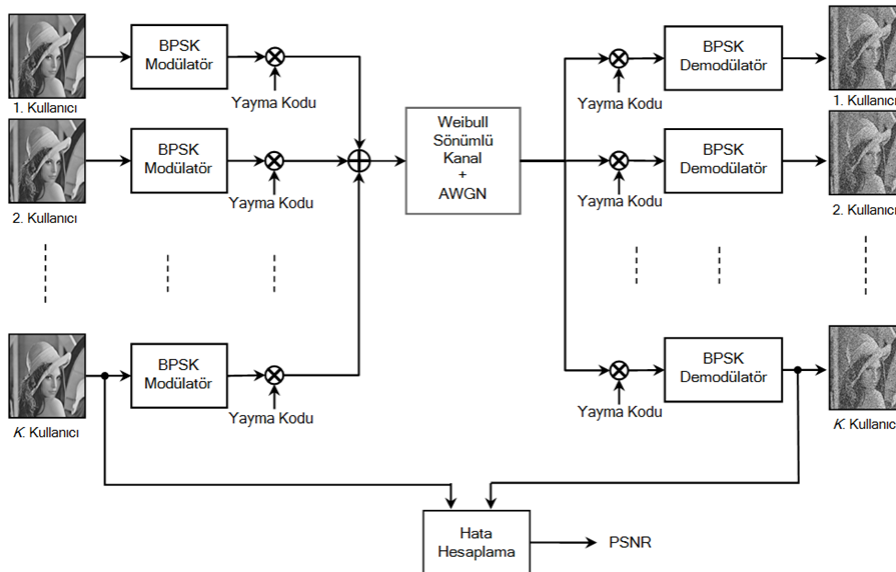
$$p_r(r) = \frac{\beta}{\Omega} r^{\beta-1} \exp\left(-\frac{r^\beta}{\Omega}\right) \quad (12)$$

Burada, $\Omega = E[r^\beta]$ olup aynı zamanda ölçekleme faktörü olarak da adlandırılırken, β terimi Weibull dağılımı için $0 < \beta < \infty$ aralığında sönümlenme parametresidir. Weibull dağılımı birçok dağılımı bünyesinde barındıran özel bir modeldir. Örneğin $\beta = 1$ durumunda Weibull dağılımı bir üstel dağılıma, $\beta = 2$ olması durumunda ise Rayleigh dağılımına dönüşmektedir [8],[11],[12].

4 Benzetim sonuçları

Resim iletiminin gerçekleştirilebilmesi için tasarlanan DD-KBÇE iletişim sistemine ait blok diyagram Şekil 2'de görülmektedir. DD-KBÇE iletişim sisteminin giriş mesaj işareti olarak 256×256 piksel boyutlarında *lenna* görüntüsü seçilmiştir. Giriş mesaj işaretinin iletişim sistemine uygulanmadan önce uygun şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden görüntünün tüm pikselleri öncelikli olarak 8 bitlik gri tonlamalı sayısal veriye dönüştürülmekte ve ardından iletişim sistemine sayısal giriş mesajı olarak uygulanmaktadır.

Sayısal giriş mesaj işaretine ardından modülasyon işlemi uygulanmaktadır. DD-KBÇE iletişim sistemlerinde bit hata oranı başarımlarından dolayı sıklıkla BPSK modülasyon işlemi tercih edilmektedir. Mesaj işaretine modülasyon işlemi uygulandıktan sonra, yayılı spektrum tekniği temeline bağlı olarak yayma kodları ile çarpma işlemi uygulanmaktadır. Yayma kodları ile çarpılan modülasyonlu mesaj işareti geniş bir spektruma yayılarak iletme hazır hale dönüştürülmüştür. Çoklu kullanıcı DD-KBÇE iletişim sisteminde kullanıcıların iletme hazır haldeki mesaj işaretleri birleştirilerek Weibull sönümlü kanal ortamına uygulanmaktadır.



Şekil 2: Tasarımı gerçekleştirilen DD-KBÇE iletişim sisteminin blok diyagramı.

Gerçek iletişim kanalının yıkıcı etkilerini tam tanımlayabilmek için modellenen kanal ortamında hem Weibull sönümlü kanal şartları hem de AWGN gürültü şartları kullanılmaktadır. Kanaldan geçen mesaj işaretleri alıcı birime ulaştıklarında tekrar bir yayma kodu ile çarpılarak verici birimde yayılmış olan mesaj işaretlerinin toparlanması sağlanmaktadır. Toparlanan işaretlere ardından demodülasyon işlemi uygulanarak mesaj işareti elde edilmeye çalışılmaktadır.

DD-KBÇE sisteminin başarımı ise iletilen görüntü ile alınan görüntünün tepe işaret gürültü oranı (peak signal-to-noise ratio, PSNR) cinsinden karşılaştırılması ile belirlenebilmektedir. PSNR, iletilen görüntülerin kalitesinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan önemli bir başarımlı ölçüt yöntemidir. Bir görüntünün PSNR değerini belirlemek için öncelikli olarak ortalama hata değerinin (mean square error, MSE) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanması gerekir:

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|S(i, j) - R(i, j)\|^2 \quad (13)$$

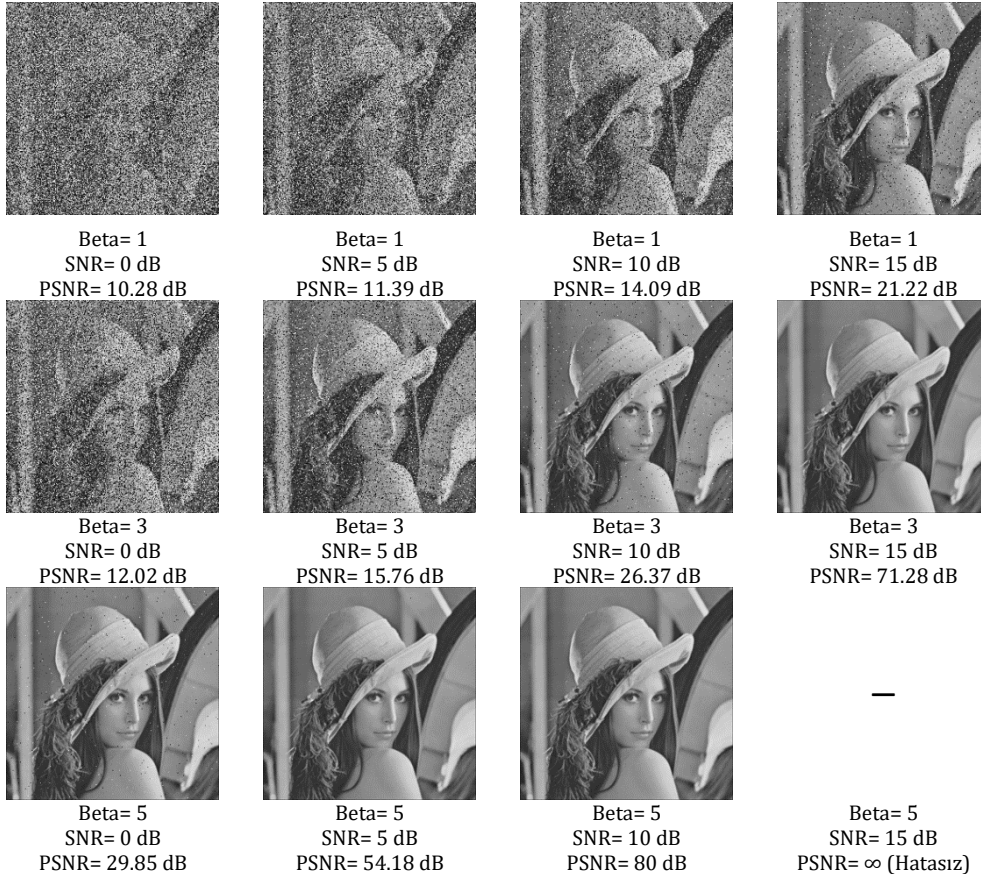
Burada, $m \times n$ görüntü boyutunu, "S" ve "R" sırasıyla iletilen görüntünün piksel değerini ve alınan görüntünün piksel değerini ikili biçimde ifade etmektedir. MSE değerine bağlı olarak PSNR değeri ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right) \quad (14)$$

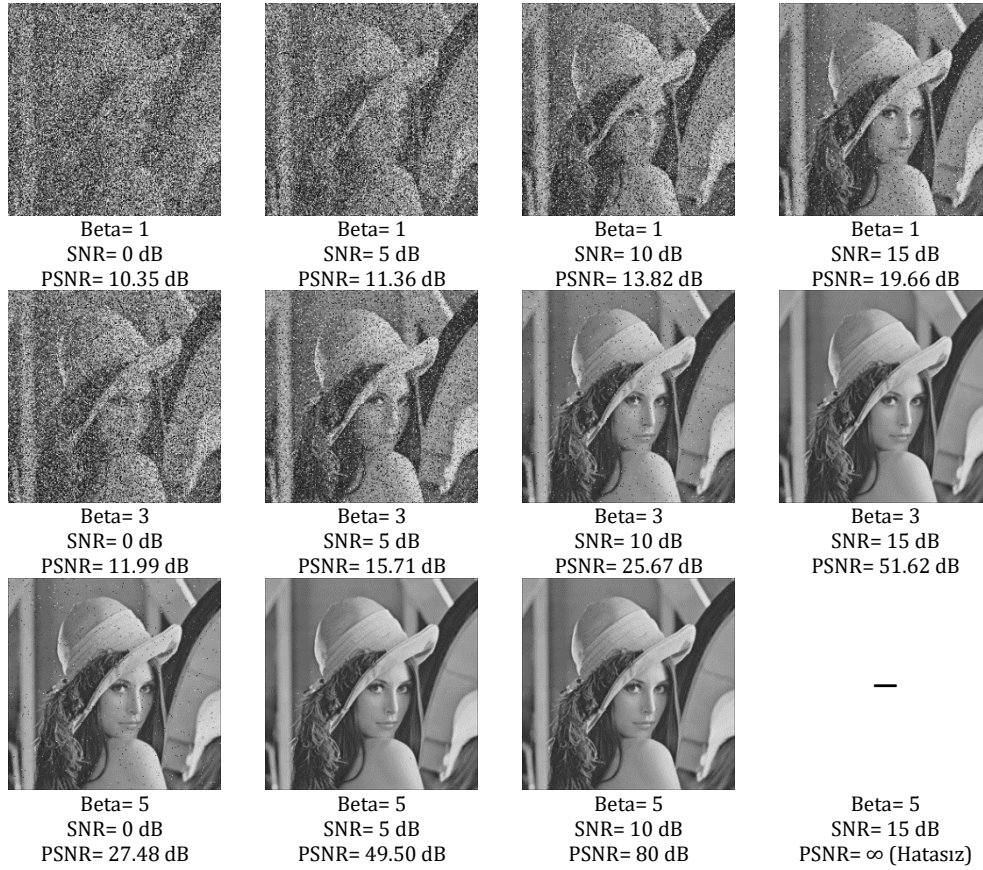
Burada, MAX görüntünün maksimum piksel değerini göstermektedir. Bu çalışmada her bir piksel için 8 bitlik veri

kullanıldığından bu çalışmada MAX değeri 256 olarak alınmıştır. Tek kullanıcı DD-KBÇE iletişim sisteminin sönümlenme parametresinin 1, 3 ve 5 olması durumundaki başarımlı analizleri ile elde edilen örnek sonuçlar Şekil 3'te verilmektedir. Şekil 3 ile sunulan başarımlı sonuçları incelendiğinde Weibull kanalın artan sönümlenme parametresinin sistem başarımında iyileşmeye yol açtığı görülmektedir. Ancak en kötü sönümlenme değeri olan 1 durumu için SNR'ın 15 dB değerinde kabul edilebilir derecede bir resim iletimi gerçekleştirilebildiği görülmektedir.

İkinci deney dört kullanıcı DD-KBÇE iletişim sistemi için farklı kanal parametreleri altında gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlardan sönümlenme parametresinin 1, 3 ve 5 olduğu durumlara ait çıktılar Şekil 4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde dört kullanıcı DD-KBÇE iletişim sisteminin kanal sönümlenme parametresi beta'nın 1'e eşit olduğu durumda SNR değerinin 10 dB seçilmesi durumunda 13.82 dB PSNR değerinde resim iletiminin gerçekleştirilebileceği görülmektedir. Ayrıca, kanal sönümlenme parametresinin değerinin artması durumunda sistem başarımında yükselmeler olduğu görülmektedir. Tek kullanıcı ve dört kullanıcı iletişim sistemlerinin diğer kanal sönümlenme parametrelerindeki başarımlı sonuçları ve sekiz kullanıcı iletişim sistemleri için elde edilen resim iletim başarımlı sonuçları Tablo 1'de listelenmektedir. Tablo 1'de bazı değerlerde görülen "—" işareti o şartlar için en yüksek başarımlı sağlandığını diğer bir ifadeyle resmin hatasız şekilde iletiminin sağlanmış olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 3: Tek kullanıcı DD-KBÇE iletişim sisteminin farklı kanal parametreleri için elde edilen resim iletim başarımları.



Şekil 4. Dört kullanıcıli DD-KBÇE iletişim sisteminin farklı kanal parametreleri için elde edilen resim iletim başarımları.

Tablo 1: Farklı kullanıcı sayıları ve kanal sönümlenme değerleri için elde edilen sonuçlar.

Kullanıcı	Beta	SNR (dB)	PSNR (dB)	Kullanıcı	Beta	SNR (dB)	PSNR (dB)
1	2	0	10.82	8	1	10	13.67
1	2	5	12.62	8	1	15	18.30
1	2	10	17.42	8	2	0	10.80
1	2	15	30.00	8	2	5	12.50
1	4	0	15.97	8	2	10	16.56
1	4	5	26.66	8	2	15	24.76
1	4	10	80.00	8	3	0	11.99
1	4	15	—	8	3	5	15.61
4	2	0	10.82	8	3	10	24.67
4	2	5	12.60	8	3	15	44.67
4	2	10	17.06	8	4	0	15.96
4	2	15	27.21	8	4	5	26.57
4	4	0	16.03	8	4	10	43.31
4	4	5	26.95	8	4	15	45.80
4	4	10	59.02	8	5	0	24.84
4	4	15	—	8	5	5	37.77
8	1	0	10.33	8	5	10	51.14
8	1	5	11.33	8	5	15	—

5 Sonuçlar

DD-KBÇE iletişim sistemlerinin Weibull sönümlü kanallar üzerinden resim iletim başarımları literatürde ilk kez bu çalışmada araştırılmıştır. Weibull sönümlü kanal modeli bina içi ve bina dışı çok yollu iletişim kanallarının tanımlanması için kullanılabilen önemli bir kanal modelidir. DD-KBÇE iletişim sistemi oluşturulurken yayma kodları olarak Walsh-Hadamard kodlarının kullanımı tercih edilmiştir çünkü bu kodların diğer yayma kodlarından daha iyi başarımlar sergilediği bilinmektedir.

DD-KBÇE iletişim sistemi oluşturulduktan sonra farklı kanal sönümlenme parametreleri ve farklı kullanıcı sayıları için sistemin analizi sunulmuştur. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre kabul edilebilir bir görüntü kalitesine sahip resim iletimi için en az 15 dB SNR değerinin gerektiği görülmüştür. İleriki çalışmalarda tasarlanan sisteme kanal kodlama işlemi uygulanarak sistem başarımının daha fazla iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

6 Kaynaklar

- [1] Sun S, Han S, Yu Q, Meng W, Li C. "A survey of two kinds of complementary coded CDMA wireless communications". *2014 IEEE Global Communications Conference*, Austin, TX, USA, 8-12 December 2014.
- [2] Shah SI, Naeem M, Sheikh AUH, Jamal H, Ahmad J. "A survey of advances in multi-user detection in DS-SS-CDMA". *The 4th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA-06)*, Dubai, Sharjah, UAE, 8-11 March 2006.
- [3] Naqshbandi MA. "Will CDMA survive the blitz of GSM in the Indian telecom Ecosystem?". *International Journal of Research in Computer and Communication Technology*, 2(4), 180-186, 2013.
- [4] Haykin S, Moher M. *Modern Wireless Communications*. London, UK, Pearson, 2004.
- [5] Harada H, Prasad R. *Simulation and Software Radio for Mobile Communications*. Boston, Mass, USA, Artech House, 2002.
- [6] Nath NP, Parija SR, Sahu PK, Singh SS. "Survey paper: location management in CDMA network". *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 8(1), 287-298, 2015.
- [7] Ali AH. "Design and analysis of MC-SS-CDMA transceivers model based Fourier Transform". *Journal of Information Engineering and Applications*, 4(9), 109-118, 2014.
- [8] Kabalcı Y. "DD-KBÇE iletişim sistemlerinin farklı yayma kodları için weibull sönümlü kanaldaki bit hata oranı başarımları analizleri". *Gazi University Journal of Science*, 4(2), 31-39, 2016.
- [9] Babich F, Lombardi G. "Statistical analysis and characterization of the indoor propagation channel". *IEEE Transactions on Communications*, 48(3), 455-464, 2000.
- [10] Tzeremes G, Christodoulou CG. "Use of Weibull distribution for describing outdoor multipath fading". *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, San Antonio, Texas, USA, 16-21 June 2002.
- [11] Cvetkovic AM, Djordjevic GT, Stefanovic MC. "Performance analysis of dual switched diversity over correlated Weibull fading channels with co-channel interference". *International Journal of Communication Systems*, 24(9), 1183-1195, 2011.
- [12] Chen JIZ, Liou CW, Yu CC. "Error probability analysis of an MC-SS-CDMA system under Weibull fading with a moment-generating function". *Computers & Electrical Engineering*, 36(1), 61-72, 2010.
- [13] Wang P, Qin J, Guo L, Yang Y. "BER performance of FSO limited by shot and thermal noise over exponentiated Weibull fading channels". *IEEE Photonics Technology Letters*, 28(3), 252-255, 2016.
- [14] Chauhan SS, Kumar S. "Capacity of orthogonal space-time block codes in spatially correlated MIMO Weibull fading channel under various adaptive transmission techniques". *Telecommunication Systems*, 62, 101-110, 2016.
- [15] Adawi N, Bertoni HL, Child JR. "Coverage prediction for mobile radio systems operating in the 800/900 MHz frequency range". *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 37(1), 3-72, 1988.