

# ÇOKTONLU DD-KBÇE SİSTEMİNİN NAKAGAMI- $m$ SÖNÜMLÜ KANALLARDAKİ BAŞARIMI

İbrahim DEVELİ

Elektrik & Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Mühendislik Fakültesi  
Erciyes Üniversitesi, 38039, Melikgazi, Kayseri

e-posta: ibrahimdeveli@ieee.org

*Anahtar sözcükler: Çoktonlu DD-KBÇE, BHO Başarım Analizi, Nakagami- $m$  Sönümlü Kanallar*

## ABSTRACT

*This paper presents bit error rate (BER) performance evaluation of multi-tone direct sequence-code division multiple access (DS-SS) systems for transmissions over Nakagami- $m$  fading channels with exponentially decaying multipath intensity profile. The simulation results show that, in viewpoint of the BER performance, there is a critical relation between the number of resolvable paths and the effect of the rate of average power decay.*

## 1. GİRİŞ

Yüksek spektral verimlilik, artırılmış esneklik ve frekans seçici sönümlenmeye karşı koyma gücü nedeniyle çoktaşıyıcı kod bölmeli çoklu erişim (KBÇE), gelecek nesil kablosuz haberleşme için oldukça popüler bir çoğullama tekniği olarak değerlendirilmektedir. Çoktonlu doğrudan dizili kod bölmeli çoklu erişim (Çoktonlu DD-KBÇE); çoktaşıyıcı KBÇE ve ortogonal çoktaşıyıcı DD-KBÇE teknikleri gibi çoktaşıyıcı tabanlı KBÇE teknikleri ailesinin bir üyesidir [1-3].

Vandendorpe, literatürde yer alan bir çalışmada, çoktonlu DD-KBÇE olarak bilinen ve esas itibarıyla çoktonlu iletim ve doğrudan yayılı spektrum yaymasının bir birleşimi olan yeni bir çoklu erişim haberleşme sistemini ortaya koymuştur [4]. Vandendorpe, bahsedilen sistemin tanıtıldığı çalışmada sistemin başarımını, yavaş değişen Rician sönümlü kanallar için değerlendirmiştir. Gerçek haberleşme kanallarının pratik uygulamaları açısından bakıldığında, gezgin bir alıcıya ulaşan işaret taşıyıcısı zarfındaki dalgalanmaların (sönümlenmelerin), Nakagami tarafından önerilen  $m$  dağılımına bağlı kaldığını kabul etmek daha gerçekçidir [5]. Özet olarak Nakagami- $m$  dağılımı, kablosuz bir kanalın modellenmesi için daha genel ve geçerli bir yol olarak kabul edilebilir [6].

Bu çalışmada; üstel olarak azalan çok-yollu şiddet profiline göz önüne alındığı, Nakagami- $m$  sönümlü kanallardan iletimler için çoktonlu doğrudan dizili-kod bölmeli çoklu erişim (DD-KBÇE) sisteminin bit hata oranı (BHO) başarımı değerlendirilmiştir. BHO başarımı noktasında elde edilen benzetim sonuçları, çözülebilir yol sayısı ile ortalama güç zayıflama oranı arasında önemli bir ilişkinin olduğunu göstermiştir [1].

## 2. ÇOKTONLU DD-KBÇE SİSTEMİ

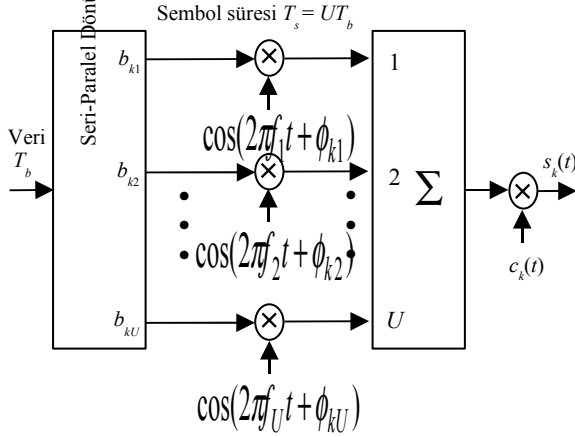
Literatürdeki [3] ve [7] çalışmalarında detaylı olarak bahsedildiği üzere çoktonlu DD-KBÇE, genelleştirilmiş çoktaşıyıcı DD-KBÇE sisteminin bir üyesi olarak değerlendirilebilir. Bir çoktonlu DD-KBÇE vericisi, belirli bir yayma kodunu kullanarak seriden paralele dönüştürülmüş veri dizilerini zaman ekseninde yayar. Böylece, yayma işleminden önce her alttaşıyıcı spektrumu, minimum frekans aralığı ile dikgenlik şartını sağlar. Şekil-1'den görüleceği gibi, bir çoktonlu DD-KBÇE sisteminin verici tarafında,  $T_b$  bit süresine sahip ikili veri dizisi, seriden paralele  $U$  tane paralel alt diziye dönüştürülür. Modüle edilmiş sembol süresini tanımlamak üzere, her alttaşıyıcıdaki yeni bit süresi  $T_s = UT_b$ 'ye eşittir.  $i$ . altdizi,  $i = 1, 2, \dots, U$  olmak üzere alttaşıyıcı frekansı  $f_i$ 'yi modüle eder. Çoktonlu işaret, farklı alttaşıyıcılara ait işaretlerin toplanmasıyla elde edilir. Bunun ardından bahsedilen toplam işaretin bir yayma kodu ile çarpılması sonucunda çoktonlu işaret üzerinde spektrum yayma işlemi gerçekleştirilir.

Literatürde,  $\lambda$ 'nın iki komşu alttaşıyıcı arasındaki normalize aralığı temsil ettiği durum için, iki komşu alttaşıyıcı frekansları arasındaki boşluk  $\Delta = \lambda/T_s$ ,  $\lambda = 1, 2, \dots$  biçiminde olduğunda, minimum frekans aralığı ile dikgenlik şartının sağlanabileceğine vurgu yapılmıştır [7].  $\lambda = 1$  olduğunda, çoktaşıyıcı DD-KBÇE tekniği, çoktonlu DD-KBÇE düzenlemesine dönüşür.

$k$ . kullanıcıya ait iletilen işaret aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir:

$$s_k(t) = \sum_{u=1}^U \sqrt{2P} b_{ku}(t) c_k(t) \cos(2\pi f_u t + \phi_{ku}) \quad (1)$$

bu eşitlikteki  $P$ , altt taşıyıcıların her biri için iletilmiş gücü;  $b_{ku}(t)$ ,  $u$ . altt taşıyıcıyı modüle eden veri dizisini;  $c_k(t)$  ise  $k$ . kullanıcıya ait yayma kodunu temsil etmektedir. Eşitlikte yer alan  $f_u$  ve  $\phi_{ku}$  ise, sırasıyla  $u$ . altt taşıyıcı frekansına ve modülasyon fazına işaret etmektedir.



Şekil-1. Çoktonlu DD-KBÇE sisteminin verici diyagramı.

Çoktonlu DD-KBÇE sisteminde altt taşıyıcı frekansları, aşağıda verilen eşitlikte ifade edildiği üzere yayma işleminden önce minimum frekans aralığı ile altt taşıyıcı frekansların birbiri ile dikgen olmasını sağlayacak şekilde seçilir.

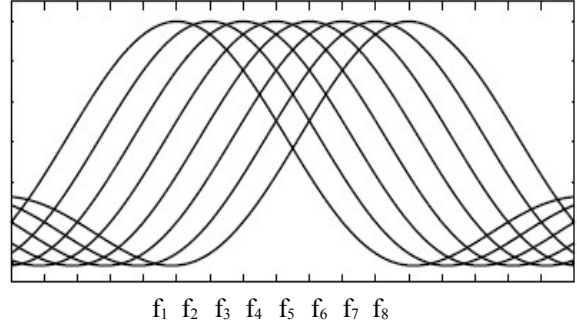
$$\int_0^{T_s} \cos(2\pi f_i t + \phi_i) \cdot \cos(2\pi f_j t + \phi_j) dt = 0, \quad i \neq j \quad (2)$$

Buna göre, iki komşu altt taşıyıcı frekansları arasındaki aralık ( $\Delta$ ),  $\Delta = 1/T_s$ 'dir.  $T_{c1}$ 'in, tek taşıyıcılı bir DD-KBÇE sistemindeki kırkık süresini temsil ettiği kabul edilsin. [7, bölüm 17]'de belirtildiği gibi ve Şekil-2'den görüleceği gibi çoktonlu DD-KBÇE sistemi için yayma koduna ait kırkık süresi şu şekilde gösterilebilir:

$$T_c = \frac{2UN}{2UN - U + 1} T_{c1} \quad (3)$$

burada  $N$ , tek taşıyıcılı DD-KBÇE sistemi göz önüne alındığı durum için yayma kazancını göstermektedir. Altt taşıyıcı işaretinin yayma kazancı  $N_e$ ;

$$N_e = T_s / T_c = UN - \frac{U-1}{2} \quad (4)$$



Şekil-2. Çoktonlu DD-KBÇE işaretinin spektrumu.

Bu çalışmada,  $k$ . verici ve göz önüne alınan alıcı arasındaki kanal, çokyollu Nakagami- $m$  sönümlü kanal olarak dikkate alınmıştır.  $k$ . kullanıcıya ait  $u$ . altt taşıyıcının karşılaştığı darbe cevabının kompleks alçak geçiren eşdeğer temsili aşağıdaki eşitlikte verilmiştir;

$$h_{ku}(t) = \sum_{l_p=0}^{L_p-1} \alpha_{ul_p}^{(k)} \delta(t - \tau_{kl_p}) e^{-j\psi_{ul_p}^{(k)}} \quad (5)$$

burada  $\alpha_{ul_p}^{(k)}$ ,  $\tau_{kl_p}$  ve  $\psi_{ul_p}^{(k)}$ ; kanalın  $l_p$ . çokyollu bileşeni için sırasıyla zayıflama faktörünü, gecikmeyi ve faz kaymasını göstermektedir. Eşitlikteki  $L_p$ , çeşitleme yollarının toplam sayısını temsil etmektedir.  $T_m$ 'nin, haberleşme kanalının maksimum gecikme yayılımını temsil ettiği durum için çözülebilir yolların sayısı  $L_p = \lceil T_m / T_c \rceil + 1$ 'dir. Tek taşıyıcılı DD-KBÇE işaretine karşı gelen çözülebilir yolların sayısı  $L_1$ ,  $L_1 = \lceil T_m / T_{c1} \rceil + 1$ 'dir.  $L_p$  ve  $L_1$ , aşağıda verilen eşitlikle ilişkilendirilebilir;

$$L_p \approx \left\lceil \frac{2N_e(L_1 - 1)}{2N_e + (U - 1)\lambda} \right\rceil + 1 \quad (6)$$

Genelleştirilmiş bir çoktaşıyıcılı DD-KBÇE işareti için türetilmiş olan Eşitlik (6) göz önüne alınırsa, çoktonlu bir DD-KBÇE işareti için  $\lambda=1$  kullanılarak Eşitlik (6) aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir;

$$L_p \approx \left\lceil \frac{2N_e(L_1 - 1)}{2N_e + (U - 1)} \right\rceil + 1 \quad (7)$$

Bu çalışmada, aşağıdaki eşitlikle tanımlanan üstel olarak zayıflayan çokyollu bir şiddet profili göz önüne alınmıştır;

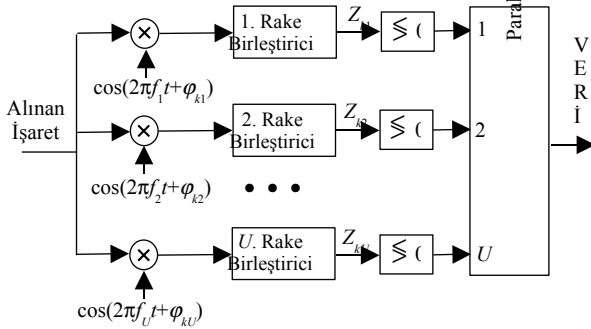
$$\Omega_{ul_p}^{(k)} = \Omega_{u0}^{(k)} \exp(-\eta l_p), \quad \eta \geq 0 \quad (8)$$

burada  $\Omega_{u0}^{(k)}$ , ilk çözülebilir yola ait ortalama işaret şiddetini temsil etmektedir. Eşitlikteki  $\eta$  ise, ortalama güç zayıflama oranıdır.

Çoktonlu DD-KBÇE sistemindeki alıcı, tek taşıyıcılı DD-KBÇE'deki RAKE alıcısı ile tamamen aynı yapıda olan  $U$  adet RAKE birleştiricisinden müteşekkildir (Şekil-3). [7]'de verilen tanımlamalara bağlı olarak, çoktonlu DD-KBÇE sistemi için ortalama BHO aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir;

$$P_b = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \prod_{l=0}^{L-1} \left( \frac{m \sin^2 \theta}{\gamma_c e^{-\eta l} + m \sin^2 \theta} \right)^m d\theta \quad (9)$$

burada  $K$ , eşzamanlı kullanıcı sayısı ve  $m$  ise sönmülleme parametresidir.



Şekil-3. Çoktonlu DD-KBÇE sisteminin alıcı blok diyagramı.

Eşitlik (9)'da görülen  $\gamma_c$ , aşağıdaki gibi ifade edilebilir [7];

$$\gamma_c = \left[ \left( \frac{\Omega_0 E_b}{N_0} \right)^{-1} + \frac{2(KL_p - 1)(1 - e^{-\eta L_p})}{L_p(1 - e^{-\eta})} \right]^{-1} \cdot \left[ \frac{1}{3N_e} + \frac{1}{U} \sum_{v=1}^U \sum_{\substack{u=1 \\ u \neq v}}^U \frac{N_e}{2\pi^2(u-v)^2} \left[ 1 - \sin c \left( \frac{2\pi(u-v)}{N_e} \right) \right] \right]^{-1} \quad (10)$$

### 3. BAŞARIM ANALİZİ VE SONUÇLAR

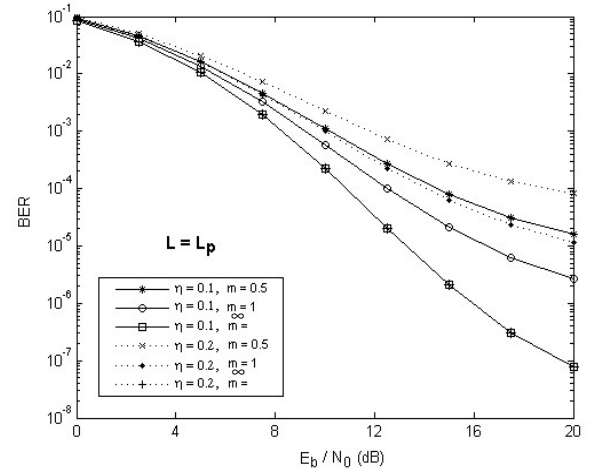
Bilgisayar benzetim çalışmalarında kullanılan sistem parametreleri şunlardır: Eşzamanlı kullanıcı sayısı  $K = 12$ ; alttaşıyıcı sayısı  $U = 32$ ; tek taşıyıcılı DD-KBÇE sistemine karşı gelen yayma kazancı ve çözülebilir yolların sayısı sırasıyla  $N_1 = 128$  ve  $L_1 = 32$ 'dir. Elde edilen BHO sonuçları, bit başına iletilen enerjinin gürültü spektral yoğunluğuna oranına ( $E_b/N_0$ ) göre çizdirilmiştir.

Benzetim çalışmalarında, iki farklı senaryo göz önüne alınmıştır: Bunlardan ilkinde; alıcının, çözülebilir yolların tümünü birleştirdiği kabul edilmiştir ( $L = L_p$ ). İkinci durumda ise; varolan karmaşıklıktan kurtulması ve pratik uygulamalar açısından gerçekleştirilmesi kabulü ile alıcının, en fazla altı adet çözülebilir yolu birleştirdiği düşünülmüştür ( $L=6$ ).

Benzetim çalışmalarının tümünde, adil bir karşılaştırma yapmak adına, ortalama güç zayıflama oranı için  $\eta = 0.1$  ve  $\eta = 0.2$  değerleri korunmuştur.

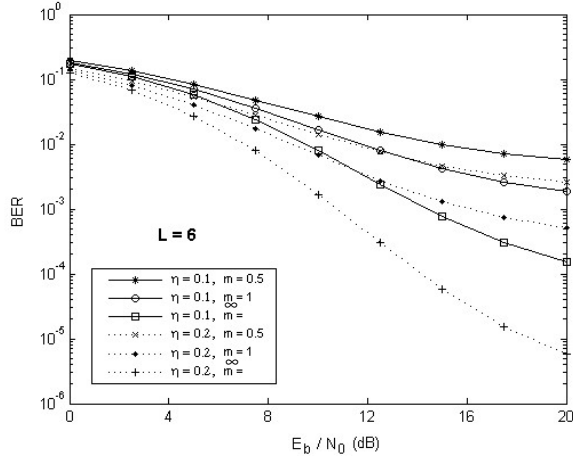
Nakagami- $m$  dağılımı,  $m$  parametresinin değiştirilmesi ile oldukça geniş bir sönmülleme aralığına hitap eder. Örneğin bu dağılım,  $m=1/2$  için tek taraflı Gaussian dağılımını  $m=1$  için ise Rayleigh dağılımını içermektedir.  $m$  değeri sonsuza yaklaşırken ( $m \rightarrow \infty$ ) Nakagami- $m$  sönmümlü kanal sönmülenmez bir AWGN kanalına dönüşür. Benzer şekilde  $m > 1$  olduğunda Nakagami- $m$  dağılımı, Rician dağılımına yaklaşır.

Şekil-4, sönmülleme parametresinin üç farklı değeri için,  $m \in \{0.5, 1, \infty\}$ ,  $L = L_p$  kabulü altında  $E_b/N_0$ 'a karşı BHO'nun değişimini göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi, özellikle  $m \in \{0.5, 1\}$  için,  $\eta$ 'nin düşük değerlerinde daha iyi BHO başarımları elde edilmektedir. Buna ilaveten, sönmülleme parametresinin değeri artarken ortalama güç zayıflama oranının BHO başarımı üzerindeki etkisinin azaldığı görülebilir.



Şekil-4. sönmülleme parametresinin üç farklı değeri için,  $m \in \{0.5, 1, \infty\}$ ,  $L = L_p$  kabulü altında  $E_b/N_0$ 'a karşı BHO'nun değişimi.

Şekil-5,  $m \in \{0.5, 1, \infty\}$  için,  $L = 6$  kabulü altında  $E_b/N_0$ 'a karşı BHO'nun değişimini göstermektedir. Şekil 5'den görüleceği gibi, daha önce Şekil 4'de elde edilen aksine  $m$  ve  $\eta$  değerleri artarken daha iyi BHO başarımları gözlenmektedir. Buradan açıkça görüleceği üzere, sönmülleme parametresinin yüksek değerleri için, farklı  $\eta$  değerlerinin BHO başarımı üzerindeki etkisi oldukça belirgin olup göz ardı edilemeyecek seviyededir [1].



Şekil-5.  $m \in \{0.5, 1, \infty\}$  için,  $L = 6$  kabulü altında  $E_b/N_0$ 'a karşı BHO'nun değişimi.

## KAYNAKLAR

- [1] Develi I., New Results on the Performance of Multitone DS-CDMA Systems in Nakagami- $m$  Fading Channels, IEICE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, (accepted for publication).
- [2] Fazel K., Performance of CDMA/OFDM for Mobile Communication System, Proc. of IEEE INTERN. CONF. ON UNIV. PERSONAL

- COMM. (ICUPC'93), pp 975-979, Ottawa, Canada, 1993.
- [3] Hanzo L., Yang L. L., Kuan E. L., Yen K., Single and Multi-Carrier DS-CDMA: Multi-User Detection, Space-Time Spreading, Synchronisation, Networking and Standards, JOHN WILEY & SONS, 2003.
- [4] Vandendorpe L., Multitone Spread-Spectrum Multiple-Access Communications-System in a Multipath Rician Fading Channel, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, Vol 44, Iss 2, pp 327-337, 1995.
- [5] Nakagami M., The  $m$ -Distribution—A General Formula of Intensity Distribution of Rapid Fading, STATISTICAL METHODS OF RADIO WAVE PROPAGATION, Pergamon, New York, 1960.
- [6] Okui S., Probability of Cochannel Interference for Selection Diversity Reception in the Nakagami  $m$ -Fading Channel, IEE PROCEEDINGS-I COMMUNICATIONS SPEECH AND VISION, Vol 139, Iss 1, pp 91-94, 1992.
- [7] Yang L. L., Hanzo L., Performance of Generalized Multicarrier DS-CDMA over Nakagami- $m$  Fading Channels, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol 50, Iss 6, pp 956-966, 2002.