

## Serpiştirme Bölmeli Çoklu Erişim Sistemlerinin Nakagami- $m$ Sönümlü Kanallardaki Performansı

### Performance of Interleave Division Multiple Access Systems in Nakagami- $m$ Fading Channels

Mehmet BİLİM, Nuri KAPUCU, İbrahim DEVELİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Erciyes Üniversitesi

bilim@erciyes.edu.tr, nurikapucu@erciyes.edu.tr, develi@erciyes.edu.tr

#### Özet

*Bu çalışmada, bir serpiştirme bölmeli çoklu erişim sisteminin, verici ile alıcı arasındaki kanalın Nakagami- $m$  sönümlü olması durumundaki hata analizi yapılmıştır. Bu analizde performans ölçütü olarak bit hata oranı ele alınmıştır. Çeşitli senaryolarla birlikte, sistemin performansı sönümlenme parametresinin farklı değerleri için araştırılmıştır. Bit hata oranı eğrileri bilgisayar benzetimleri ile elde edilmiştir.*

#### Abstract

*In this paper, error performance of an interleave division multiple access system is analyzed when channel between transmitter and receiver is subject to Nakagami- $m$  fading. In this analysis bit error rate is considered as a performance metric. The performances of the system with various scenarios are investigated for different values of fading parameter. Bit error rate curves are obtained by computer simulations.*

#### 1. Giriş

Yeni nesil kablosuz iletişim sistemleri için önemli bir yere sahip olacağı öngörülen Serpiştirme Bölmeli Çoklu Erişim (Interleave Division Multiple Access, SBÇE) sistemleri iyi bir hata performansına sahiptir. Bu sebepten dolayı SBÇE sistemleri ile ilgili son zamanlarda dikkat çekici çalışmalar yapılmaktadır [1]-[11]. SBÇE sistemleri, radyo iletişim kanalları üzerinden yüksek veri hızlarını destekleyebilen Doğrudan Dizili Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Direct Sequence Code Division Multiple Access, DD-KBÇE) sistemlerine benzeyen bir yapıya sahiptir [6], [11], [12]. Bununla birlikte Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, DFBC) yapıları ile SBÇE sistemleri birleştirilerek performans artışı sağlanmıştır [2], [4], [5], [10]. Song ve ark. [1]'de sundukları çalışmada, geleneksel DD-KBÇE ve SBÇE sistemleri için yeni bir yayma yapısı önermişlerdir. Bu yayma yapıları sayesinde sistem performansında iyileşme elde etmişlerdir. [2]'de verilen çalışmada ise DFBC-SBÇE sistemleri için yeni bir kullanıcı gruplama metodu önerilerek önemli bir

gelişme sağlanmıştır. Çalışma [3]'te ise SBÇE sistemleri için sembol algılama teknikleri geliştirilmiştir. Novak ve ark. ise Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (Multiple Input Multiple Output, ÇGÇÇ) DFBC sistemleri ile SBÇE sistemlerini birleştirerek kanal kestirimi ve ortak veri algılama tekniklerini uygulamışlardır [4]. Çalışma [5]'te ise DFBC-SBÇE için kanal kestirim algoritmaları sunulmuştur. Önerilen kanal kestirim algoritmalarının çeşitli senaryolarla incelenmesi yapılmıştır. Bir diğer çalışma [6]'da ise Kusume ve ark. SBÇE ile KBÇE sistemlerinin kapsamlı olarak karşılaştırmasını yapmışlardır. SBÇE sistemleri için farklı serpiştirici teknikleri [7]-[9]'da verilen çalışmalarda önerilmiş, uygulanabilirliği ve verimliliği detaylı olarak analiz edilmiştir. DFBC-SBÇE sistemlerinin analizi ve tasarımı Tong ve ark. tarafından [10]'daki çalışmada sunulmuştur. SBÇE sistemlerinin detaylı olarak analizi, sistem tasarımı, çeşitli senaryolardaki performansları ve kablosuz iletişim için taşıdığı önem çalışma [11] ve [12]'de ele alınmıştır.

Bahsi geçen bütün bu çalışmalar incelendiğinde, SBÇE ve DFBC-SBÇE sistemlerinin Beyaz Toplanabilir Gauss Gürültülü (Additive White Gaussian Noise, BTGG) veya Rayleigh sönümlü kanallardaki performansları incelenmiştir. Buna karşın, telsiz iletişim sistemleri için önerilen bir diğer kanal çeşidi, Nakagami- $m$  sönümlü kanallardır. Nakagami- $m$  dağılımı gezgin alan ve bina içi gezgin çokyollu yayılım alanlarını daha iyi temsil etmekte ve iyonosferdeki radyo hatlarını daha iyi tanımlamaktadır. Ayrıca, Nakagami- $m$  dağılımı ortam tanımlamalarında, analitik uyumluluk açısından da daha iyi bir performans sergilemektedir [13], [14]. Bu sebeple, Nakagami- $m$  sönümlü kanallarda birçok bilimsel çalışma mevcuttur. Bu tarz çalışma örnekleri [14]-[19]'da verilmektedir. Bütün bu nedenlerden dolayı bu çalışmada, SBÇE sistemlerinin düz Nakagami- $m$  sönümlü kanallardaki Bit Hata Oranı (Bit Error Rate, BHO) performansı incelenmiştir. Bilindiği kadarıyla, SBÇE sistemlerini Nakagami- $m$  sönümlü kanallarda inceleyen herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Bildirinin 2. bölümünde, SBÇE sisteminin genel yapısı, 3. bölümünde ele alınan kanal yapısı ve 4. bölümünde ise

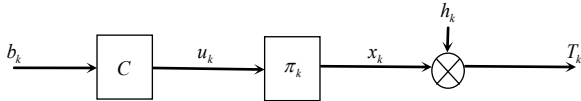
simülasyon çalışmaları verilmektedir. Son olarak 5. bölümde ise sonuç kısmı yer almaktadır.

## 2. SBÇE Sisteminin Genel Yapısı

SBÇE sistemleri DD-KBÇE sistemlerine benzer bir yapıya sahip olup, kullanıcıya özgü yayma kodları yerine kullanıcıya özgü serpiştirici dizilerini kullanmaktadır. Alıcı tarafta ise yeni bir algılama algoritması uygulamaktadır. SBÇE sistemlerinin verici ve alıcı yapıları ile ilgili detaylı bilgiler bu bölümde açıklanmaktadır.

### 2.1. Verici Bloğu

Şekil 1,  $k$ . kullanıcıya ait verici yapısının blok diyagramını göstermektedir. Verici yapısı incelendiğinde,  $b_k$ ,  $k$ . kullanıcıya ait bilgi dizisini ifade etmektedir. Şekil 1’deki  $C$  bloğu ise sistemde İleri Hata Düzeltme (Forward Error Correction, İHD) yöntemlerinden herhangi biri kullanılıyorsa onu ve yayma işlemi ifade etmektedir.  $b_k$  bilgi dizisi,  $C$  bloğunda önce kanal kodlama sonra da yayma işlemine tabi tutulur ve  $u_k$  dizisi elde edilir.



Şekil 1:  $k$ . kullanıcıya ait IDMA verici blok diyagramı.

Yayma işleminden sonra sisteme adını veren ve alıcı kısımda da bilindiği kabul edilen  $\pi_k$  serpiştirme bloğu,  $u_k$  dizisini serpiştirerek  $x_k$  dizisini üretmektedir.  $\pi_k$  bloğu, girişine uygulanan dizinin her bir bitinin adreslerini belirli bir kurala göre değiştirir. Bir diğer deyişle, belirli bir kurala göre bitleri dizinin kendi içerisinde karma işlemi gerçekleştirir. Daha sonra serpiştirilmiş işaret,  $h_k$  kanal katsayıları ile çarpılarak  $T_k$  ile temsil edilen işaret oluşturulmaktadır. Buna göre,

$$T_k = h_k x_k \quad (1)$$

şeklindedir.  $K$  adet eşzamanlı kullanıcının mevcut olduğu bir SBÇE sistemi düşünüldüğünde verici bloğunun çıkışındaki toplam işaret,

$$T_{\text{toplam}} = \sum_{k=1}^K h_k x_k \quad (2)$$

ile ifade edilmektedir. SBÇE sisteminde varolan her bir kullanıcı, Şekil 1’de gösterilen ve yukarıda açıklanan iletim prosedürüne tabi tutulur. Sistemdeki bütün kullanıcıların  $T_k$  işaretleri toplanır ve elde edilen bu işarete BTG gürültüsü

eklendikten sonra alıcı kısma ulaşmaktadır. Buna göre  $r$ , alıcıya ulaşan toplam işaret,

$$r = \sum_{k=1}^K h_k x_k + n_k \quad (3)$$

şeklindedir. Burada  $n_k$ , BTG gürültüsünü ifade etmektedir.

### 2.2. Alıcı Bloğu

Şekil 2,  $k$ . kullanıcıya ait alıcı yapısını temsil etmektedir. Alıcıya gelen toplam işaret,  $r$ , Temel İşaret Kestirimi (Elementary Signal Estimator, TİK) bloğundan geçer. Daha sonra her bir kullanıcının kendisine özgü olan serpiştirme ve geri serpiştirme blokları yardımıyla kod çözücülere aktarım yapılmaktadır. Bu işlem önceden belirlenmiş iterasyon sayısı kadar tekrar edilmektedir. Bu algılama işlemine Kırmık Kırmık Algılama (Chip-by-Chip detection, KKA) denilmektedir [11], [12].

$$e_{ESE}(x_k(j)) \equiv \log \left( \frac{\Pr(x_k(j)=+1)}{\Pr(x_k(j)=-1)} \right), \forall k, j. \quad (4)$$

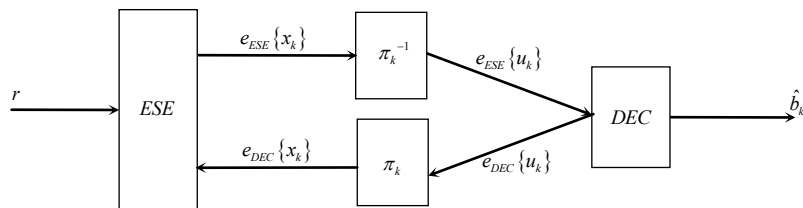
burada  $j$ ,  $x_k$  dizisinde  $j$ . kırmığı ifade etmektedir. KKA algoritmasının matematiksel olarak açıklaması, çalışma [11]’de detaylı olarak verilmektedir. Son iterasyondan sonra  $k$ . kullanıcıya ait  $b_k$  işareti yeniden elde edilmektedir. Bu bilgi kestirimi işlemi sırasında, her bir kullanıcıya ait serpiştirme kuralının ve  $h_k$  kanal katsayılarının alıcı tarafta bilindiği kabul edilmektedir [11], [12]. KKA algoritması “paralel ve seri” olmak üzere iki çeşittir. Sistemdeki her kullanıcının aynı anda bilgi dizileri kestirimi gerçekleştiriliyorsa “paralel KKA”, her bir kullanıcının algılama işlemi sırasıyla gerçekleştiriliyorsa “seri KKA” adı verilmektedir.

## 3. Nakagami- $m$ Kanal Yapısı

Şekil 1’de verilen  $h_k$  çarpıcı bloğu ile gösterilen kanal katsayıları ve toplam işarete eklenen BTG gürültüsü genel anlamda kanal etkisini oluşturmaktadır. Bu çalışmada Nakagami- $m$  kanal yapısı oluşturulmak istenildiğinden,  $h_k$  kanal katsayılarının Nakagami- $m$  dağılımına sahip olması gerekmektedir. Buna göre Nakagami- $m$  Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (Probability Density Function, OYF) şu şekilde ifade edilebilir [20, Eşitlik (2.20)]

$$p_\alpha(\alpha) = \frac{2m^m \alpha^{2m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{m\alpha^2}{\Omega}\right), \alpha \geq 0 \quad (5)$$

burada,  $\Omega$  enerji ölçekleme parametresi,  $m$  sönümleme parametresi ( $0.5 \leq m \leq \infty$ ) ve  $\alpha$  kanal sönümleme genliği



Şekil 2:  $k$ . kullanıcıya ait IDMA alıcı blok diyagramı.

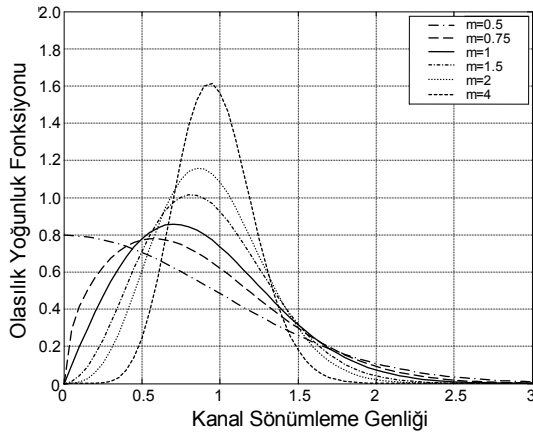
değişkenini temsil etmektedir. Enerji ölçekleme parametresi,

$$\Omega = E[R^2] = \bar{R}^2 \quad (6)$$

şeklindedir.  $E[\cdot]$ , beklenen değer ifadesidir.  $R$  ise eşitlik (7)'de verildiği gibi, birbirinden bağımsız  $n$  adet Gaussian rastgele değişkenin kareleri toplamının kareköküdür.

$$R = \sqrt{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2} \quad (7)$$

Eşitlik (5)'te verilen Nakagami- $m$  dağılımı  $m=1$  durumunda Rayleigh dağılımına dönüşmektedir [20]. Şekil 3, çeşitli  $m$  parametreleri ile  $\Omega=1$  durumuna ilişkin OYF değişimlerini göstermektedir.



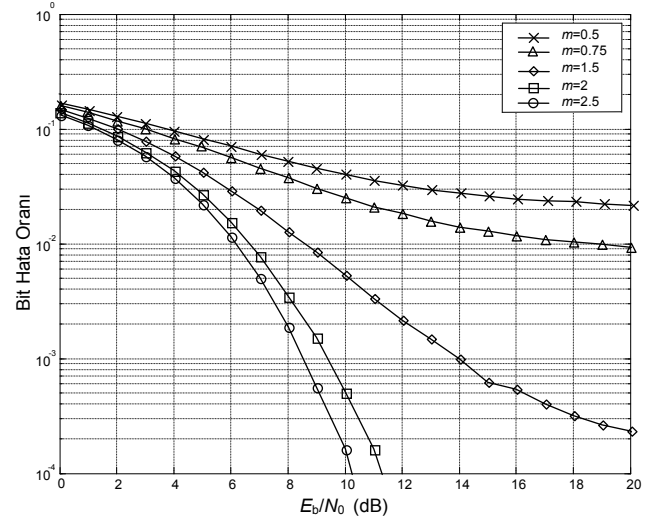
Şekil 3:  $\Omega=1$  ve çeşitli  $m$  parametreleri durumunda Nakagami- $m$  OYF değişim grafiği.

Şekil 3'te verilen grafiğe göre,  $m$  sönümleme parametresi değiştikçe OYF eğrilerinin değiştiği gözlenmektedir. Bu değişime göre kanaldaki sönümleme genliğinin derinliği veya şiddeti  $m$  parametresi ile kontrol edilebilmektedir. Bir başka deyişle,  $m$  parametresinin değeri arttıkça kanalın sönümleme etkisi azalmakta dolayısıyla performansta iyileşme sağlayacak bir etki sunmaktadır. Ele alınan bu çalışmada da zaten, SBÇE sisteminin Nakagami- $m$  sönümlü kanala adapte edilmesi hedeflenmiştir. Böylelikle  $m$  parametresi değişimi beklenildiği gibi sistem performansına etki etmektedir. Bir sonraki bölümde sunulan simülasyon sonuçlarında,  $m$  parametresinin farklı değerleri için sistem performansları verilmektedir.

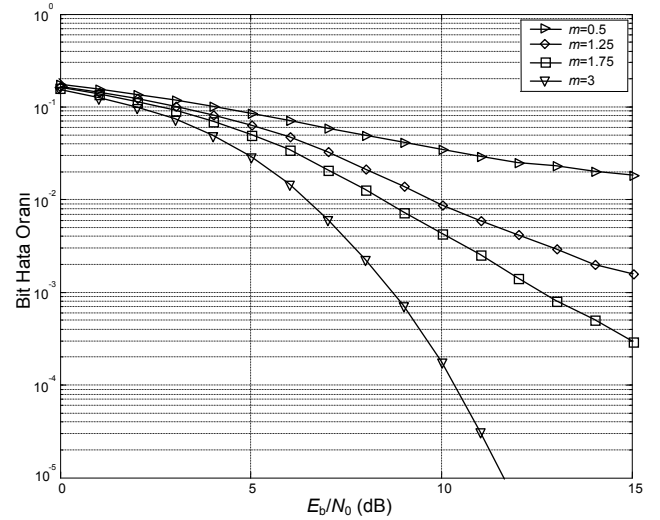
#### 4. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada, SBÇE sistemlerinin Nakagami- $m$  sönümlü kanallarda  $m$  parametresinin değişimine göre hata performansı incelenmiştir. Çalışma tamamen bilgisayar simülasyonu tabanlı olup, iki farklı senaryo ele alınmıştır. Sistemde İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Binary Phase Shift Keying, İFKA) modülasyonunun kullanıldığı, verici kısımda herhangi bir İHD kodlama çeşidinin kullanılmadığı

ve alıcı kısımda  $h_k$  kanal katsayılarının bilindiği kabul edilmiştir. Sırasıyla, Şekil 4 ve 5'te  $N_{\text{bilgi}}$  sistemdeki veri uzunluğunu,  $S$ , sistemdeki yayma uzunluğunu,  $K$ , sistemdeki eşzamanlı kullanıcı sayısını,  $It$ , KKA algoritması için gerekli olan iterasyon sayısını ve son olarak  $B$ , sistem simülasyonu için gerekli olan blok sayısını ifade etmektedir. Şekil 4'te sunulan simülasyon sonucunda oluşturulan senaryo şu şekildedir:  $N_{\text{bilgi}}=128$  bit,  $S=16$  bit,  $K=4$ ,  $It=20$  ve  $B=1000$  olarak alınmıştır.



Şekil 4:  $N_{\text{bilgi}}=128$  bit,  $S=16$  bit,  $K=4$ ,  $It=20$  ve  $B=1000$  olarak alınan SBÇE sisteminin Nakagami- $m$  sönümlü kanallardaki hata performansı.



Şekil 5:  $N_{\text{bilgi}}=128$  bit,  $S=32$  bit,  $K=16$ ,  $It=20$  ve  $B=1000$  olarak alınan SBÇE sisteminin Nakagami- $m$  sönümlü kanallardaki hata performansı.

Şekil 4'teki simülasyon sonucundan  $m$  sönümleme parametre değerinin artmasıyla birlikte, beklenildiği gibi, sistemin hata performansının iyileştiği gözlenmektedir. Daha detaylı olarak

izah edilirse,  $10^{-2}$  'lik hata performansı seviyesi için,  $m=0.75$  durumunda  $E_b/N_0=18$  dB'lik enerji gerekli iken,  $m=2$  durumunda ise  $E_b/N_0 \approx 6.5$  dB'lik enerji gereklidir. Şekil 5'te ele alınan bir başka senaryoda ise yine  $N_{\text{bilgi}}=128$  bit,  $l_t=20$ ,  $B=1000$  olarak alınmıştır. Fakat  $S=32$  bit ve eşzamanlı kullanıcı sayısı 16 alınmıştır. Bu değerlerle birlikte yine  $m$  sönümlenme parametresi değişimlerinin SBÇE sisteminin hata performansının etkisi araştırılmıştır. Bu simülasyon sonucunda da  $m$  parametresinin değerinin artmasıyla sistem performansının iyileştiği dikkati çekmektedir. Bu hata performansı ile ilgili bir analiz örneği vermek gerekirse,  $10^{-3}$  'lük hata performansını,  $m=3$  iken  $E_b/N_0 \approx 8$  dB'de yakalarken,  $m=1.75$  durumunda ise  $E_b/N_0 \approx 12.5$  dB'de yakalamaktadır. Şekil 4 ve 5'teki simülasyon sonuçları kıyaslanırsa,  $E_b/N_0=10$  dB'de şekil 5'te  $m=3$  durumunda  $\approx 10^{-4}$  'lük hata performansı sağlanırken, şekil 4'te  $m=2.5$  durumunda  $\approx 10^{-4}$  'lük hata performansı gözlenmektedir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada, gelişmekte olan kablosuz iletişim teknolojisinde önemli bir yere sahip olacağı öngörülen SBÇE sistemi ele alınmıştır. SBÇE sistemi, kablosuz iletişim ile ilgili çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanımı olan Nakagami- $m$  sönümlü kanallarda incelenmiştir. SBÇE sistemi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde sadece Rayleigh, Rician sönümlü veya BTGG kanallarının iletim ortamı olarak ele alındığı dikkati çekmektedir. Gelecek çalışmalarımızda ise, İHD kodlama türlerini kullanan ve ayrıca çokyollu yayılımın da hesaba katıldığı durumların incelenmesi hedeflenmektedir.

## 6. Kaynaklar

- [1] Song, G., Tsujii, Y., Cheng, J., Watanabe, Y., "Finite Field Spreading for Multiple-Access Channel," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 62, no. 3, 1001-1010, 2014.
- [2] Zhou, X., Yang, L., Yuan, D., "Bipartite Matching Based User Grouping for Grouped OFDM-IDMA," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 10, 5248-5257, 2013.
- [3] Dang, J., Yang, L., Zhang, Z., "Symbol Detection of IDMA Systems in the Presence of Carrier Frequency Offsets," *Wireless Personal Communications*, vol. 72, 1453-1466, 2013.
- [4] Novak, C., Matz, G., Hlawatsch, F., "IDMA for the Multiuser MIMO-OFDM Uplink: A Factor Graph Framework for Joint Data Detection and Channel Estimation," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 61, no. 16, 4051-4066, 2013.
- [5] Hammerberg, P., Rusek, F., Edfors, O., "Channel Estimation Algorithms for OFDM-IDMA: Complexity and Performance," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 11, no. 5, 1722-1732, 2012.
- [6] Kusume, K., Bauch, G., Utschick, W., "IDMA vs. CDMA: Analysis and Comparison of Two Multiple Access Schemes," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 11, no. 1, 78-87, 2012.
- [7] Bilim, M., Kapucu, N., Develi, I., "A New Approach to Random Interleavers for Traditional IDMA Systems," *IEEE ISCC'2012, The 17th IEEE Symposium on Computers and Communication*, 2012, 209-212.
- [8] Bilim, M., Develi, I., Kapucu, N., "Weibull ve Karma Serpiştirici Kullanan IDMA Sistemlerinin Bit Hata Oranı Başarımı," *SIU 2012, 20. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Sempozyumu*, 2012, 1-4.
- [9] Bilim, M., Kapucu, N., Develi, I., "An Adapted Block Interleaver Design for Interleave-Division Multiple Access Systems," *ICECCO'2012, The 9th International Conference on Electronics, Computer and Computation*, 2012, 108-111.
- [10] Tong, J., Guo, Q., Ping, L., "Analysis and design of OFDM-IDMA systems," *European Transactions on Telecommunications*, vol. 19, 561-569, 2008.
- [11] Ping, L., Liu, L., Wu, K., Leung, W.K., "Interleave-Division Multiple-Access," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 5, no. 4, 938-947, 2006.
- [12] Ping, L., "Interleave-Division Multiple Access and Chip-by-Chip Iterative Multi-User Detection," *IEEE Communications Magazine*, vol. 43, no. 6, 19-23, 2005.
- [13] Nakagami, N., "The  $m$ -distribution, a general formula for intensity distribution of rapid fading," in *Statistical Methods in Radio Wave Propagation*, W. G. Hoffman, Ed. Oxford, U.K.: Pergamon, 1960.
- [14] Yang, L.L., Hanzo, L., "Performance of Generalized Multicarrier DS-CDMA Over Nakagami- $m$  Fading Channels," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 50, no. 6, 956-966, 2002.
- [15] Moualeu, J.M., Hamouda, W., Takawira, F., "Relay Selection for Coded Cooperative Networks with Outdated CSI over Nakagami- $m$  Fading Channels," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 13, no. 5, 2362-2373, 2014.
- [16] Moualeu, J.M., Hamouda, W., Xu, H., Takawira, F., "Multi-Relay Turbo-Coded Cooperative Diversity Networks Over Nakagami- $m$  Fading Channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 9, 4458-4470, 2013.
- [17] Mehemed, A., Hamouda, W., "Outage Performance in Cooperative CDMA Systems over Nakagami- $m$  Fading Channels," *IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2011, 1904-1908.
- [18] Şener S., Develi İ., Karaboğa N., "Further Performance Analysis Of The Generalized Mc Ds-Cdma System In Nakagami- $m$  Fading Channels," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 35, 1-8, 2009.
- [19] Cheng, J., Beaulieu, N.C., "Error Rate of Asynchronous DS-CDMA in Nakagami Fading," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 4, no. 6, 2674-2676, 2005.
- [20] Simon, M.K., Alouini, M.-S., *Digital Communications over Fading Channels: A Unified Approach to Performance Analysis*. New York: John Wiley and Sons, 2005.