

E^a ZAMANLI FREKANS-SEÇÝCÝ KBÇE SÖNÜMLÜ KANALLAR ÝÇÝN YOL SEÇÝMLÝ ÇOKYOLLU TERSÝLÝPKÝLEYÝCÝ ALICI

ADAPTIVE PATH SELECTIVE MULTIPATH-DECORRELATING RECEIVER FOR SYNCHRONOUS CDMA FREQUENCY-SELECTIVE FADING CHANNELS

Ali Hakan ULUSOY, Hasan AMCA, Kadri HACIOĐLU* ve Ahmet RÝZANER

Doğu Akdeniz Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Magosa - KKTC

* Colorado Üniversitesi
Center For Spoken Language Research
Boulder, CO80309 – ABD

e-posta: alihakan.ulusoy@emu.edu.tr

ÖZET

Bilinen çokyollu tersilekileyici alýcýlarda, sistemin karmařıklyđý ve meydana gelen gürültü artýrýmý kanalýn çözülebilir yollarýn sayýsýna bađýmlý olarak artar. Bu çalyřmada, kanal katsayýlarýndan yararlanýp sistemin bařarým sonuçlarýna çok fazla etki etmeyen düşük enerjili yollarýn alýcýda kullanýlmamasý yoluna gidilerek hem sistemin karmařıklyđýný hem de gürültü artýrýmýný azaltacak bir yapı üzerinde durulmuřtur. Gürültü artýrýmý ve kullanýlmayan yollardan dolayý meydana gelen çoklu eriřim kaybý arasýndaki iliřki analitik formüllerle verilmi° ve sistemin bařarýmýndaki artýř gösterilmiřtir.

Anahtar kelimeler: KBÇE, çokyollu kanal, çok kullanýcýlý sezinleme, çokyollu tersilekileyici alýcý.

ABSTRACT

In the conventional multipath-decorrelating receiver, the complexity and noise enhancement increase with the number of resolvable paths. In this paper, we propose a scheme that adaptively selects a subset of the paths reducing both system complexity and noise enhancement. We provide analytical results that show the tradeoff between noise enhancement and multipath induced multiple access interference for better performance.

Keywords: CDMA, multipath channel, multiuser detection, multipath decorrelating detector.

1. GÝRÝř

Kod Bölmeli Çoklu Eri°im (KBÇE) sistemleri geleceđin çok kullanýcýlý gezgin iletiřim sistemlerinin en ümit vericisidir. Çokyollu sönünüm ve çoklu eri°im giriřimi gezgin KBÇE sistemlerinin bařarýmýný kýsýtlayan en önemli iki etkidir. Çokyollu sönünüm, iletimin çokyollu bir kanaldan geçmesinden ortaya çýkmaktadır. Diđer yanda ise çoklu eriřim giriřimi ayni kanalı kullanan kullanýcýlarýn yarattýđý bir etkidir. Týrmýk alýcý yapýsý [1], kanalýn çözülebilir yollarýn

ayýrmada ve daha sonra bu yollarý çokyollu birle°im teknikleri ile birleřtirilmede kullanýlmaktadır. Tersilekileyici alýcý, týrmýk alýcý ile birleřtirilerek, Çokyollu Tersilekileyici Alýcý (ÇTA) [2] diye bilinen sistem olu°turulabilir. Burada çoklu eri°im giri°imi çokyollu birle°imden önce ortadan kaldýrýlabilir. ÇTA bařarýmý kanalýn çözülebilir yol sayýsýna bađýmlýdır. Bilinen ÇTA kanalýn çözülebilir tüm yollarýnı kullanmaktadır. Fakat kanalýn çözülebilir tüm yollarýnı kullanýlması, kullanýcý sayýsý (K) ve

çözülebilir yol sayısına (N_p) bağımlı olan ve tersine ihtiyaç duyulan matrisin boyutlarını büyüttüğü için sistemi karmaşık hale getirmektedir. Bilindiği gibi tersilişkileyici alıcı gürültü artırımını yaratmaktadır. [3] de gösterildiği gibi sabit sayıda kullanıcı için gürültü artırımını kanalın çözülebilir yol sayısı artıyca fazlalıkmaktadır. Bu çalışmada esas amaç gürültü artırımından dolayı meydana gelen tersilişkileyici kaybını azaltmaktır. Bunu yaparken kanal katsayılarından yararlanıp, sistemin başarımı sonuçlarına çok fazla etki etmeyen bazı yolların alıcıda kullanılmaması yoluna gidilmiştir. Fakat bu seçme işlemiyle kullanılmayan yollardan dolayı bir çoklu erişim kaybı meydana çıkacaktır. [3] de kanal ne olursa olsun sabit sayıda ilk yollar kullanılmakta ve sistemin başarımının azaldığı gösterilmektedir. Tekrar başarımı artırmak için ise anten çeşitlenmesi uygulanmaktadır. Halbuki bizim üzerinde çalıştığımız sistemde yalnızca başarımda etkin olan, kanalın en yüksek değerli yoluna göre belli eşik değerini sağlayan, her kanaldan değişik sayıda yollar seçilmekte ve kullanılmaktadır. Kullanılmayan yollar sistemin başarımını etkileyecektir fakat bu etki atılan yolların kullanılmamasından meydana gelen gürültü artırımından daha az olduğu için [3]'deki sistemde başarımda düşüklüğüne kıyasla bizim sistemimizde başarımda iyileşme meydana gelecektir.

Makale u u eekilde düzenlenmiştir. Bir sonraki bölümde tasarlanan sistemin yapısı sunulmuştur. Uyarlanabilir kanal seçimi ve önerilen alıcı modeli üçüncü bölümde verilmiştir. Sunulan sistemin başarımda analizi dördüncü bölümde açıklanmıştır ve son olarak da, öngörülen sistemin başarımını gösteren sayısal sonuçlar verilmiştir.

2. SİSTEMİN YAPISI

K aktif kullanıcının bulunduğu eğzamanlı kanaldan alıcıya ulaşan sinyal ağıdındaki gibi yazılabilir.

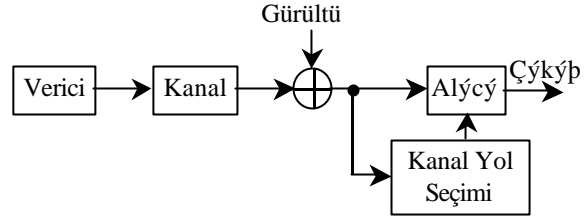
$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{w_k} b_k \sum_{l=0}^{N_p-1} c_{k,l} s_k(t - \frac{l}{B_w}) + n(t) \quad (1)$$

Burada, k , kullanıcı indeksi; w_k , k kullanıcısının genliği; b_k , k kullanıcısının iletilen biti ($\{-1,+1\}$); $s_k(t)$, k kullanıcısının gerçek değerli birim-enerjili yayıcı dizisi; B_w , kanal band genliği; $1/B_w$, çykma aralığı; N_p , kanalın çözülebilir yol sayısı; $n(t)$, sýfır ortalamalı kompleks toplanır beyaz Gaus gürültüsü ve $c_{k,l}$, k kullanıcısının l yolunun kanal katsayısı olarak kullanılmaktadır. Bu sistemde kullanılan kanal modeli ağıdındaki gibidir [1].

$$c_k(t) = \sum_{l=0}^{N_p-1} c_{k,l} \quad (2)$$

$$c_{k,l} = \mathbf{a}_k \mathbf{d}(t - \mathbf{t}_l) \quad (3)$$

Burada, \mathbf{a}_k , l yolunun kompleks kazancı, \mathbf{t}_l , l yolunun gecikme zamanı ve $\mathbf{d}(t)$, darbe fonksiyonudur. (2) ve (3)'deki kanal katsayıları, $c_{k,l}$, sýfır ortalamalı kompleks değerli Gaus değişkenleri olup k kullanıcısının kanal vektörünün, $\mathbf{c}_k = [c_{k,0}, \dots, c_{k,N_p-1}]^T$, işaret süresince değişmediği kabul edilmiştir.



Đekil 1: Sistemin Yapısı.

3. ÖNERİLEN YOL SEÇİMLİ ALICI

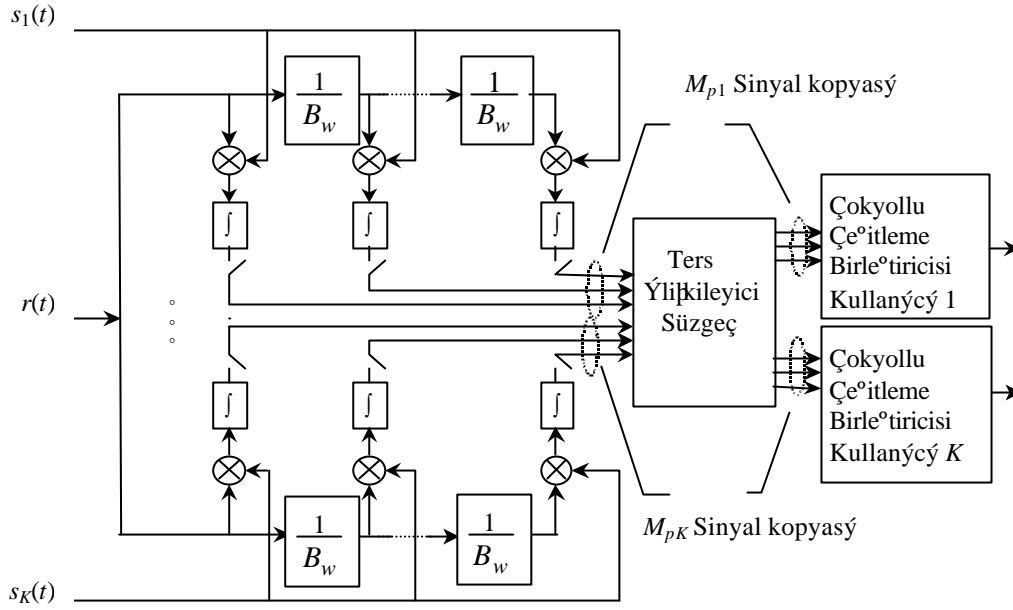
Đekil 1'de görüleceği gibi alıcıya ulaşan sinyalden sistemin başarımını etkileyecek yollar bilinen kanal katsayılarından bulunmaktadır. Bunu yaparken her kullanıcı için en yüksek enerjili yol bulunmakta ve enerjileri belirlenen eşik değerinde olan yollar seçilmektedir. Bilinen ÇTA da her kullanıcı için sabit olan N_p yol sayısı, yol seçimli alıcıda her kullanıcı için farklı olduğundan yeni yol sayısı $M_p = [M_{p1}, \dots, M_{pK}]$ şeklinde gösterilebilir. Böylelikle sistemde kullanılan toplam yol sayısı

$$T_p = \sum_{k=1}^K M_{pk} \quad (4)$$

olup, K (her kullanıcı için bir yol kullanılırsa) ve $K \times N_p$ (her kullanıcı için tüm yollar kullanılırsa) arasında olacaktır. Yol seçimi uygulandıktan sonra, alıcı yapısı sadece seçilen yollar kullanılarak Đekil 2'deki gibi olacaktır [3]. Yol seçimli alıcının uyumlu süzgeç çıkışıdaki sinyal ağıdındaki gibi gösterilebilir.

$$\mathbf{y} = \mathbf{R}_s \mathbf{W}_s \mathbf{C}_s \mathbf{b}_s + \mathbf{R}_n \mathbf{W}_n \mathbf{C}_n \mathbf{b}_n + \mathbf{n}_c \quad (5)$$

Burada, s kullanılan; n de kullanılmayan yollardan dolayı oluşan matrisleri göstermektedir. Buna göre, $\mathbf{W}_s = \text{diag}(\sqrt{w_1} \mathbf{1}_{M_{p1}}^T, \dots, \sqrt{w_K} \mathbf{1}_{M_{pK}}^T)$ ve $\mathbf{W}_n = \text{diag}(\sqrt{w_1} \mathbf{1}_{N_p - M_{p1}}^T, \dots, \sqrt{w_K} \mathbf{1}_{N_p - M_{pK}}^T)$ kullanıcı genlikleri; $\mathbf{C}_s = \text{diag}(\mathbf{c}_{s1}, \dots, \mathbf{c}_{sK})$ ve $\mathbf{C}_n = \text{diag}(\mathbf{c}_{n1}, \dots, \mathbf{c}_{nK})$ kanal katsayıları olup \mathbf{c}_{sk} ve \mathbf{c}_{nk} , k kullanıcısının seçilen ve seçilmeyen kanal katsayıları; $\mathbf{b}_s = \text{diag}(b_1 \mathbf{1}_{M_{p1}}^T, \dots, b_K \mathbf{1}_{M_{pK}}^T)$ ve $\mathbf{b}_n = \text{diag}(b_1 \mathbf{1}_{N_p - M_{p1}}^T, \dots, b_K \mathbf{1}_{N_p - M_{pK}}^T)$ iletilen bitler; \mathbf{R}_s ve \mathbf{R}_n seçilen ve seçilmeyen yollardan oluşan ilinti matrisleri (bak (6)-(7)) ve \mathbf{n}_c ilintili gürültü matrisidir. Burada $\mathbf{1}_n^T$ terimi n elemanlı dikey bir vektördür. $T_p \times T_p$ boyutlu ilinti matrisi, \mathbf{R}_s , ağıdındaki gibi hesaplanabilir.



Bekil 2: Frekans seęici KBÇE kanallarý için uyarlanabilir yol seęimli ÇTA.

$$\mathbf{R}_s = \int_0^T s_s(t) s_s(t)^T dt \quad (6)$$

Burada $s_s(t)$ sadece seçilen yolların asıl ve gecikmiş dizilerinden oluşturulan yayıcı dizi vektörü olup bu şekilde gösterilebilir,

$$s_s(t) = [s_1(t)K \quad s_1(t - (M_{p1} - 1)/B_w)K \quad \dots \quad s_K(t)K \quad s_K(t - (M_{pK} - 1)/B_w)K]^T \quad (7)$$

(6)'ya benzer şekilde kullanılmayan yollardan oluřturulan \mathbf{R}_n de hesaplanabilir. Hiç bir seęme iřlemi yapmayan bilinen ÇTA da, uyumlu süzgeç çýkýřı bu şekilde gösterilebilir.

$$\mathbf{y} = \mathbf{R}\mathbf{W}\mathbf{c}_b + \mathbf{n}_c \quad (8)$$

Burada tüm matrisler KN_p boyutlarındadır. Yol seęimli tersliřkileyici süzgeç çýkýřı ařadýdaki şekilde gösterilebilir.

$$\mathbf{z} = \mathbf{R}_s^{-1} \mathbf{y} \quad (9)$$

Süzgeç çýkýřı, \mathbf{z} 'nin her M_{pk} gerçek ve hayali gürültü parçalarının k kullanıcı için ortak deřiřinti matrisi $\mathbf{D}[k,k]N_o/2$ olup buradaki $\mathbf{D}[i,j]$, \mathbf{R}_s^{-1} 'in i, j 'inci $M_{pk} \times M_{pk}$ bloğudur. En uygun birleřim için ilk önce gürültü Cholesky ayrımından [4, 5] $\mathbf{D}[k,k] = \mathbf{T}^H \mathbf{T}$ elde edilen süzgeç $(\mathbf{T}^H)^{-1}$ kullanılarak beyazlařtırılır. $(\cdot)^H$ Hermit (eřlenik bakıřlımlı) devriđi. Daha sonra sinyal $\mathbf{c}_{sk}^H \mathbf{T}^{-1}$ ile çarpılarak en büyük oran birleřimi için uygun hale getirilir. Birleřimin çýkýřı $\mathbf{c}_{sk}^H \mathbf{T}^{-1} (\mathbf{T}^H)^{-1} [\mathbf{z}]_{(M_{pk}(k-1)+1):M_{pk}}$ olup burada $[\mathbf{x}]_{(a:b)}$ \mathbf{x} 'in a 'dan b 'ye olan elemanlarını gösterir. Son olarak,

kestirilen bitler sıfır eşik değeri ile karşılaştırılarak elde edilir.

4. BAřARIM ANALÝZÝ

Kanal katsayıları, \mathbf{c}_k , bilindiği varsayılırsa, k kullanıcı için bit hata oranı olasılığı şöyle gösterilebilir.

$$P_{e_{k|c_k}}(N_o) = Q \left(\frac{\sqrt{w_k \mathbf{c}_{sk}^H (\mathbf{D}_{[k,k]})^{-1} \mathbf{c}_{sk}}}{\frac{N_o}{2} D_r} \right) \quad (10)$$

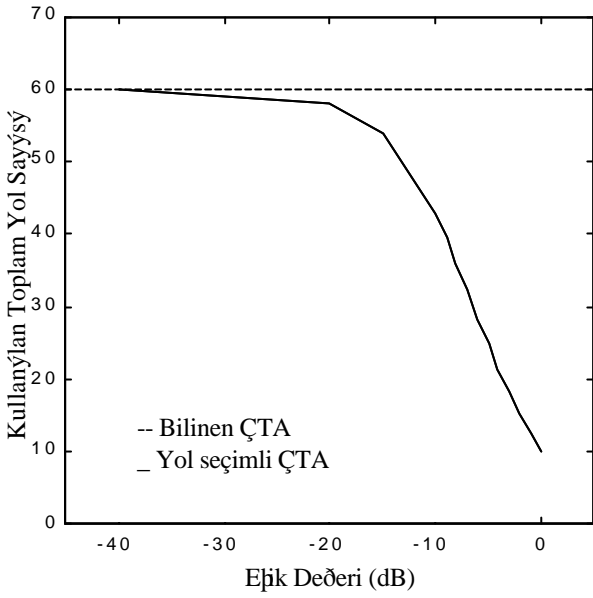
Burada, D_r , kullanılmayan yollardan dolay meydana gelen çoklu eriřim kaybı olup ařadýdaki gibi hesaplanabilir [3, 6, 8].

$$D_r = 1 + \frac{2}{3L} \sum_{k=1}^K \sum_{l \in A_k} |c_{k,l}|^2 \frac{E_k}{N_o} \quad (11)$$

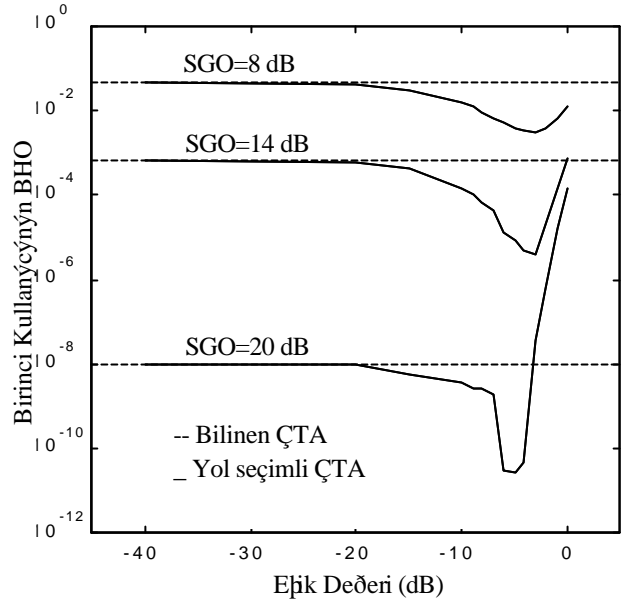
Burada, L , yayıcı kod uzunluğu, E_k , k kullanıcı için eşik değerine göre seğilerek kullanılan yollar kümesidir. (11)'den de görüleceği üzere kanalın çözülebilir tüm yolları kullanıldığı zaman $D_r=1$ olacaktır.

5. SAYISAL SONUÇLAR

Sayısal analizler 10 kullanıcıly bir sistem için yayıcı dizi uzunluğu $L=63$ olan yayıcı dizileri [7] kullanılarak yapılmıştır. Kanal kullanımında ise yol sayısı, $N_p=6$ olup en yüksek ile en düşük enerjili yollar arasında 20 dB'lik fark bulunan üstsel kanallar seğilmiştir. Kanal katsayılarının Gauss dağıylımlı ve değiklerinin üstsel güç profilinden seğilerek, kanal vektörü $\mathbf{c}_k = [c_{k,0} \quad c_{k,1} \quad \dots \quad c_{k,N_p-1}]^T$, nın normu 1 varsayılmıştır. Başarım eğirileri (10)'daki bit hata

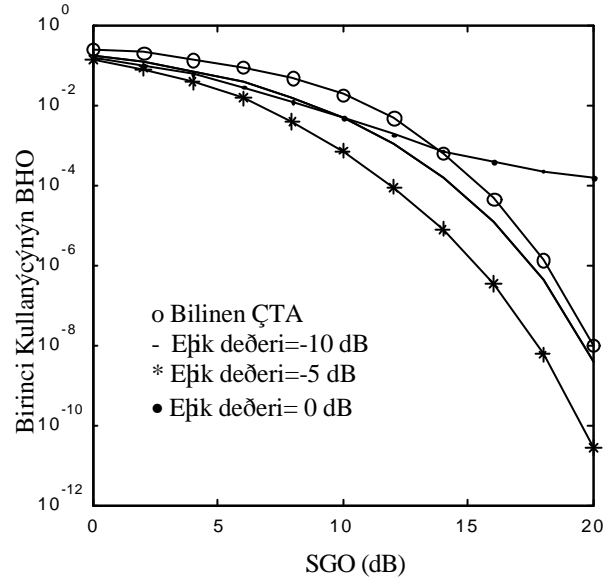


Đekil 3: Değişik eşik değerleri için sistemde kullanılan toplam yol sayısı değerlendirmesi ($L=63$, $K=10$, $SGO=8$ dB, $E_i/E_1=0$ dB, $N_p=6$).



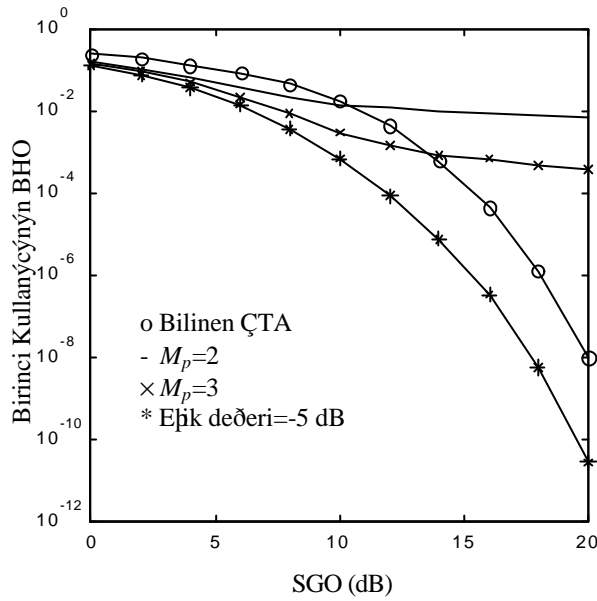
a ekil 4: Değişik eşik değerleri için birinci kullanıcının BHO değerlendirmesi ($L=63$, $K=10$, $E_i/E_1=0$ dB, $N_p=6$).

oraný olasılyđýnyn 1000 birbirinden bađýmsyz kanaldan elde edilen sonuçların ortalamasý alınarak elde edilmiştir. Đekil 3, kullanılan ortalama toplam yol sayısının eřik değerine göre nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu sayý “tüm yol kullanımı (60)” ile “her kullanıcı için tek yol kullanımı (10)” arasında değişmektedir. Đekil 4, birinci kullanıcının bit hata oranının (BHO) sinyal gürültü oranına (SGO) göre ekilde belirtilen şartlarda davranış biçimini göstermektedir. Buradaki edrilerden gürültü artırımý ile kullanılmayan yollardan dolayı meydana gelen çoklu erişim kaybı arasında ilişki gösterilmektedir. Tüm SGO değelerinde yol seçimli yöntem bilinen yöntemeye göre kazanç sağlamaktadır. Gürültü artırımının yüksek olduğu çalışma ortamında, örnek olarak SGO'nun 8 dB olduğu zaman, başarıml tüm eřik değerlerinde bilinen yöntemden daha iyi olmaktadır. Sonuçlardan da görüleceği gibi gürültü artırımının azalmasından gelen kazanç kullanılmayan yollardan dolayı meydana gelen çoklu erişim kaybından fazla olduğu sürece sistemde belli bir eřik değerine göre az sayıda yolun kullanılması başarıml artırmıştır. Đekil 5'deki edriler yukarıda bahsedilen davranışý daha değişik bir çerçeveden göstermektedir. Farkedilmelidir ki az sayıda yol kullanıldığy zaman kullanılmayan yollardan meydana gelen çoklu erişim kaybından dolayı BHO belli bir SGO'dan sonra sabitleme göstermiştir. Đekil 6 da [3] de sözü edildiği gibi hiç bir seçme işlemi yapmadan her kullanıcı için sabit sayıda ilk yolların, M_p , kullanılması ile elde edilen sonuçlar, eřik değerine göre seçme işleminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Burada $M_p=2$ olduğu zaman 20 ve $M_p=3$ olduğu zaman 30 yol kullanılmıştır. Diğer tarafta eřik değeri -5 dB de ise

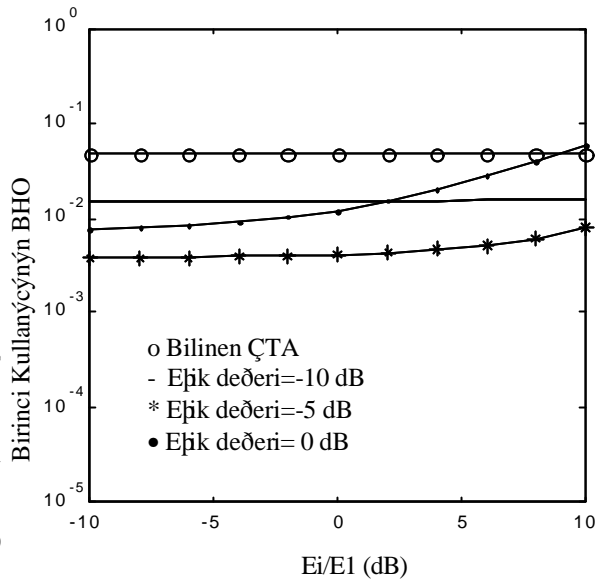


Đekil 5: Yol seçimi için değişik eşik değerlerinde ÇTA başarıml değerlendirmesi ($L=63$, $K=10$, $E_i/E_1=0$ dB, $N_p=6$).

Đekil 3'den de görüleceği gibi 20 ile 30 arasında en yüksek enerjili yol kullanımı sağlanmıştır. Böylelikle sistemlerin karmařıklyđýnyn aşadı yukarı aynı olduğunu söyleyebiliriz. Halbuki, eřik değerine göre yol seçimi tüm SGO değerlerinde sabit sayıda ilk yolların kullanımına göre hayli yüksek başarıml artıřý sağlamıştır. Bu başarıml artışının sebebi olarak eřik değerine göre seçilen yolların enerjilerinin hiç bir seçme işlemi yapılmadan kullanılan yolların enerjilerinden daha yüksek olduğu söylenebilir. Sonuç olarak sabit sayıda ilk yolları kullanan yöntem gerekli



Đekil 6: Sabit sayıda ilk yolları ve eşik değerlerine göre seçilmiş yolları kullanan sistemlerin karşılaştırması ($L=63$, $K=10$, $E_i/E_1=0$ dB, $N_p=6$).



Đekil 7: Yol seçimi için değişik eşik değerlerinde kullanıcı enerji oranlarına göre ÇTA başarımlı değerlendirmesi ($L=63$, $K=10$, $SGO=8$ dB, $N_p=6$).

olan bazı yolların kullanılmamasını sağlayabilir. Değişik eşik değerlerinde sistemin yakın-uzak probleminin başarımlı göstermek için sistemin birinci kullanıcısının enerjisinin diğer kullanıcıların enerjisine oranına (E_i/E_1) göre BHO Đekil 7'deki gibi sunulabilir. Tersilişkileyici süzgeçde kullanılmayan yolların sayısı arttıkça sistemin yakın-uzak problemi artmaktadır. Fakat uygun bir eşik değeri seçimi ile yakın-uzak etkisinden gelen kayıp çok fazla önem taşımamaktadır.

6. SONUÇ

Bu çalışmada uyarlanabilir yol seçimli tersilişkileyici alıcı yöntemi ile hem sistemin karmaşıklyđını hem de gürültü artırımını azaltarak başarımlı artırılı sağlayacak bir yapı sunulmuştur. Az sayıda yol kullanımlıdan dolayı tersine ihtiyaç duyulan tersilişkileyici süzgecin boyutlarının küçülmesinden ve sonuç olarak meydana gelen gürültü artırımını azaltmasından gelen kazanç seçilen yollardan meydana gelen çoklu erişim kaybından fazla olduğu sürece başarımlı artırılı sağlanmıştır. Diğer yandan sabit sayıda ilk yolları kullanan sistem yüksek enerjili yolların tümünün kullanılmamasını sağlayamadığı için, eşik değerine göre seçim kadar başarımlı sonuç verememiştir. Kullanılmayan yol sayısı arttıkça yakın-uzak problemine olan etki artmaktadır.

KAYNAKÇA

1. PROAKIS J. G., Digital Communications, 2. Baskı, New York: McGraw-Hill, 1989.

2. ZVONAR Z. – BRADY D., “Linear Multi-Path-Decorrelating Receivers for CDMA Frequency-Selective CDMA Fading Channels”, IEEE Trans. on Communications, cilt 44, no. 6, s. 650-653, Haziran 1996.
3. ZVONAR Z., “Combined Multiuser Detection and Diversity Reception for Wireless CDMA Systems”, IEEE Trans. on Vehicular tech., cilt 45, no. 1, s. 205-211, a ubat 1996.
4. ALEXANDER P.D. – RAJMUSSEN L.K., “On the Windowed Cholesky Factorization of the Time-Varying Asynchronous CDMA Channel”, IEEE Trans. on Communications, cilt 46 no. 6, s. 735-737, Haziran 1998.
5. MONK A.M., DAVIS M., MILSTEIN L.B. – HELSTROM C.W., “A Noise-Whitening Approach to Multiple Access Noise Rejection-Part I: Theory and Background”, IEEE Journal on Selected areas in Communication, cilt 12, no. 5, s. 817-827, Haziran 1994.
6. TURIN G.L., “The Effects of Multipath and Fading on the Performance of Direct-Sequence CDMA Systems”, IEEE Journal on Selected areas in Communication, cilt SAC-2, no. 4, s. 593-603, Haziran 1994.
7. SARWATE D.V. – PURSLEY M.B., “Crosscorrelation Properties of Pseudorandom and Related Sequences”, Proc. of the IEEE, cilt 68, no. 5, s. 593-619, Mayıs 1980.
8. ULUSOY A.H., AMCA H.A., HACIOĐLU K. – RÝZANER A., “Adaptive Path Selective Linear Multipath-Decorrelating Receiver for CDMA Frequency-Selective Fading Channels”, VTC2000, Eylül 2000, Boston, USA.