

ÇOK-YOLLU SÖNÜMLEMELİ KANALLARDA TURBO KODLANMIŞ ALICI ANTEN ÇEŞİTLEMESİ TEK KOD ÇEVİRİMSSEL KAYDIRMA (TKÇK) ÇOK KULLANICILI SEZİCİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Sezin Yıldırım, Özgür Ertuğ

Telekomünikasyon ve Sinyal İşleme Laboratuvarı (TESLAB)
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gazi Üniversitesi
sezin.yildirim@gazi.edu.tr, ertug@gazi.edu.tr

ÖZET

Yapılan bu çalışmada çok yollu frekans seçici sönmümlü kanallarda, eş zamanlı doğrudan dizili Kod Bölmeli Çoklu Erişim (DD-KBÇE) sistemlerinin [1,2]'de tanıtılan Tek Kod Çevrimsel Kaydırma (TKÇK) çok kullanıcıli sezici tipi kullanılarak MATLAB benzetim programı ile bit hata oranı (BER) analizleri gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışma alıcı anten çeşitlemesi maksimum oran birleştirme tekniği kullanılarak çoklu anten yapısına genişletilmiş ve önerilen sezici yapısı literatürde tanımlı diğer doğrusal sezici yapılarıyla (İlinti çözücü sezici (DEC) ve MMSE sezici [3,4]) karşılaştırılmıştır. Son olarak sistem mimarisine Turbo Kodlama tekniği eklenmiş ve bu yöntemin TKÇK sezici tipinde sağladığı performans iyileşmesi analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kod bölmeli çoklu erişim, TKÇK çok kullanıcıli sezici, alıcı anten çeşitlemesi, Turbo kodlama

1. GİRİŞ

KBÇE sistemi, yeni nesil haberleşme sistemlerinde yaygın kullanılan, tüm kullanıcıların aynı anda aynı frekans bandında iletim yapabildiği bir yayılı spektrum tekniğidir. Bu uygulamada iletilecek olan dar bant mesaj sinyali, geniş banda sahip bir işaretlerle çarpılarak gönderilir [5]. Bu işaretler her kullanıcı için tektir ve diğer kullanıcıların kodlarına dikgendir. Alıcı tarafında beklenen kod sezilir ve diğer tüm kodlar gürültü olarak nitelenir [6]. Bu noktada sistemde oluşan çoklu erişim karışımlarını engellemenin yaygın kullanılan yollarından biri çok kullanıcıli sezici yapılarıdır. Literatürde tanıtılan ilinti çözücü sezici çoklu erişim girişimini engellemek için kullanılırken, MMSE sezici sistemdeki ortalama karesel hatayı en aza indirmek için kullanılmaktadır [3, 4]. Bu iki sezici tipinin ortak özelliği ise vericide her bir kullanıcıya tahsis edilen işaret kodunun alıcıda da bilinmesi gerekliliğidir.

[1,2] çalışmalarında geleneksel doğrusal sezici tiplerinden farklı olarak TKÇK sezici yapısı tanıtılmıştır. Bu sezici tipinin en önemli ve öne çıkan özelliği alıcı tarafının çok kullanıcıli sinyali, sistemde aktif tüm işaret kodlarının açık bilgisine sahip olmadan çözebilmesidir. Söz konusu sezici, alıcıda hiçbir kullanıcıya ait işaret kodu bilinmeden kullanılabileceği gibi sınırlı bir bilgi aktarımı esnasında da kullanılabilir. Bu yapıda verici tarafından gönderilen sinyal dikgen taşıyıcı modüleli pilot ve veri sinyallerinden oluşmaktadır. Bunlardan ilki yani pilot sinyaller aynı işaret koduyla çarpılarak yayılan,

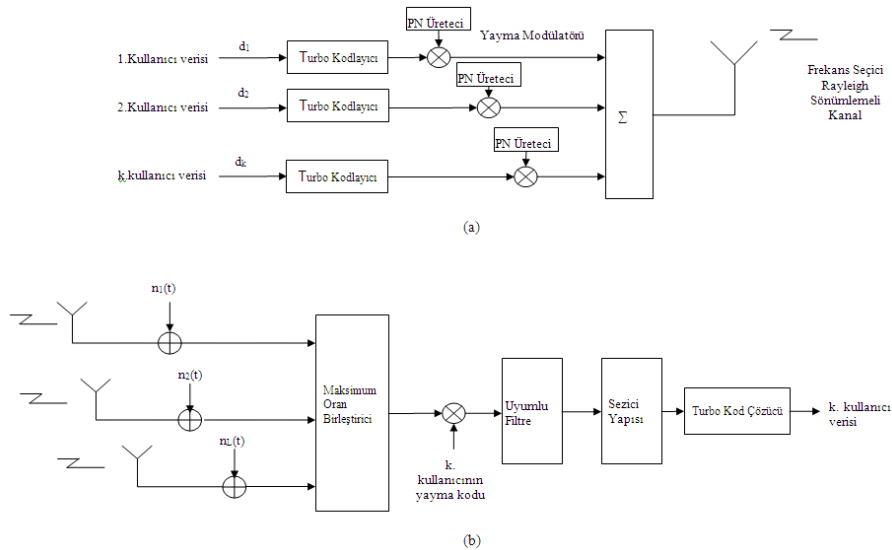
periyodik olarak tekrarlanan pilot sembollerinden oluşur. Bu yapıda belirli bir mobil kullanıcıya ait olan hem pilot hem de veri sinyalleri baz istasyonu tarafından, geleneksel bir QPSK modem gibi dördün ve eş fazlı taşıyıcılar kullanılarak aynı frekansta gönderilirler [2]. Tanıtılan sezici yapısı diğer pilot destekli çok kullanıcılı sezici tiplerinden farklılık göstermektedir. Burada, pilot ve veri sinyallerini modüle eden dikgen taşıyıcılar kullanılarak kanal çevrimsel kaydırma ilinti fonksiyonlarının tahmin edilmesi prensibine dayalı bir sezici yapısı geliştirilmiştir.

Çalışmanın en son aşamasında, haberleşme sistemlerinin temel amacı olan mümkün olan en düşük maliyetle mümkün olan en yüksek verimi elde etme prensibini gerçekleştirmek için kullanılan ve Shannon'ın kapasite limitinde çalışmanın olabilirliğini gösteren Turbo kodlama tekniği sisteme eklenmiştir [7].

Bu bildirinin ikinci bölümünde sistem modeli açıklanacak, üçüncü bölümde ise önerilen TKÇK sezici tipinin detaylı tanıtımı yapılacaktır. Dördüncü ve beşinci bölümlerde ise sırasıyla MATLAB teknik programlama ortamında yapılan benzetim çalışmaları ve bunların değerlendirmeleri yer alacaktır.

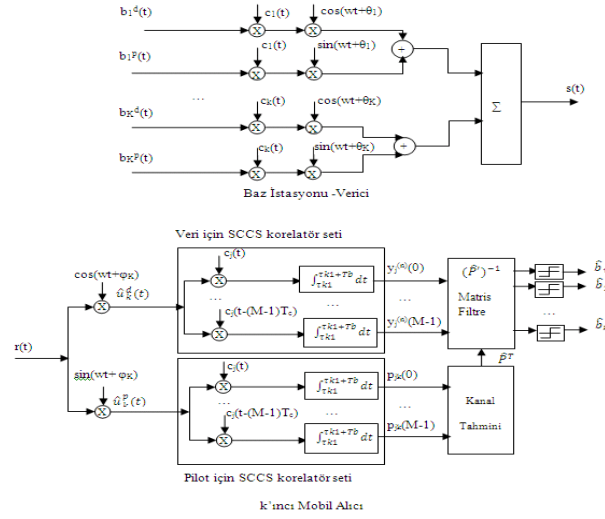
2. SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada sistem modeli olarak K adet kullanıcılı eş zamanlı DD-KBÇE sistemi kullanılmıştır. Sisteme gönderilen veri dizisi TKÇK sezici tipinin [1,2]'de tanımlanan yapısına göre kanala gönderilmektedir. Tanıtılan bu yapı klasik QPSK modem yapısına benzer olduğu için QPSK modülasyon kullanılmıştır. Haberleşme kanalı olarak Rayleigh sönmlemeli frekans seçici kanal kullanılmıştır. Kanaldan çıkan ve alıcıda bulunan farklı antenler ile toplanan sinyal asıl analiz edilen bölümler olan birleştirme ve sezici işlemlerine tabi tutulmuştur. Kullanılan bu sistem Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Sistem modeli: a) Çok kullanıcılı bir sistemde genel tek antenli DD-KBÇE verici yapısı b) k. kullanıcının genel çok antenli DD-KBÇE alıcı yapısı

Şekil 1’de verilen sistem modeli genel bir DD-KBÇE sistemine aittir. Bu modelin TKÇK sezici yapısında uygulanabilir olması için Şekil 2’de verilen model üzerinden sinyal tasarımı yapmak gerekmektedir. Bu tasarımda her bir kullanıcıya ait verici tarafından gönderilen sinyal dikgen taşıyıcı modüleli pilot ve veri sinyallerinden oluşmaktadır. Bunlardan ilki yani pilot sinyaller aynı işaret koduyla çarpılarak yayılan, periyodik olarak tekrarlanan pilot sembollerinden oluşur.



Şekil 2: TKÇK çok kullanıcılı sezici yapısı kullanılan eş zamanlı DD-KBÇE sisteminin verici-alıcı sistem modeli [1, 2]

Şekil 1 ve Şekil 2’de verilen k’nci kullanıcı için veri sinyali $b_k^d(t)$ ’nin, içerisinde +1 ve -1 değerlerinin eşit olasılıkta bulunduğu sürekli ikili bit dizisi olduğu varsayılırsa veri değerlerinin gösterimi aşağıdaki gibi olur.

$$b_k^d(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} b_k^d(n) p_{T_b}(t - nT_b) \quad (1)$$

Taşıyıcı modülasyonundan önce $c_k^d(t)$ işaret kodu ile yayılan temel bant veri sinyali,

$$u_k^d(t) = b_k^d(t) c_k^d(t) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Bu durumda vericiden gönderilen veri sinyali;

$$s_k^d(t) = \sqrt{2w_k^d} u_k^d(t) \cos(wt + \theta_k) \quad k \in (1, K) \quad (3)$$

olarak gösterilir. Benzer şekilde vericiden gönderilen k’nci kullanıcıya ait pilot sinyali de aşağıdaki gibidir.

$$s_k^p(t) = \sqrt{2w_k^p} u_k^p(t) \sin(w(t - t_k) + \theta_k) \quad k \in (1, K) \quad (4)$$

Bu durumda k’nci kullanıcıya ait olan ve vericiden gönderilen kombine edilmiş sinyal;

$$s_k(t) = s_k^d(t) + s_k^p(t) \quad k \in (1, K) \quad (5)$$

şeklinde son halini alır [1, 2].

Çalışmada kullanılan kanal yapısının L adet alt yola sahip frekans seçici kanal olduğu düşünüldüğünde k'ıncı kullanıcıya ait kanal dürtü tepkisi aşağıda verildiği gibi ifade edilir.

$$h_k(t) = \sum_{l=1}^L \alpha_{k,l} \delta(t - \tau_{k,l}) e^{i\theta_{k,l}} \quad (6)$$

Burada $\alpha_{k,l}$ Rayleigh dağılımlı rastgele değerler, $\theta_{k,l}$ ve $\tau_{k,l}$ ise $(0, 2\pi)$ ve $(0, T_b)$ üzerinde düzgün dağılımlıdır.

Bu durumda mobil bir alıcı tarafından alınan sinyal aşağıda görüldüğü gibi ifade edilir.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \int_{-\infty}^{\infty} h_k(\tau) s_k(t - \tau) d\tau + n(t) \quad (7)$$

Burada $n(t)$, spektral güç yoğunluğu $N_0/2$ olan beyaz Gauss gürültüsüdür (AWGN). Burada k'ıncı mobil istasyon tarafından alınan sinyal olan $r(t)$, veri ve pilot sinyaller olmak üzere 2 kola ayrılır.

$$r_k^d(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sqrt{2w_k^d \alpha_{k,l}} u_k^d(t - \tau_{k,l}) \cos(wt + \varphi_{k,l}^d) + n_d(t) \quad (8)$$

$$r_k^p(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sqrt{2w_k^p \alpha_{k,l}} u_k^p(t - \tau_{k,l}) \sin(wt + \varphi_{k,l}^p) + n_p(t) \quad (9)$$

Burada $n_d(t)$ ve $n_p(t)$ veri ve pilot kanallarındaki gürültü bileşenleridir [1, 2].

3. TKÇK ÇOK KULLANICILI SEZİCİ

3.1. PİLOT DESTEKLİ KANAL TAHMİNİ

Şekil 2'de verilen yapıda görülen k'ıncı kullanıcıya ait pilot sembolünün, m'inci $c_j(t - mT_c)$ TKÇK korelatörden normalize edilmiş çıkışı Eş. 10'da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P_{j,k}(m) &= \frac{1}{N} \int_{t_k + \tau_{k,1}}^{t_k + \tau_{k,1} + T_b} c_j(t - mT_c) \sum_{l=1}^L \alpha_{k,l} \sqrt{2w_k^p} u_k^p(t - \tau_{k,l}) dt \\ &\quad + \frac{1}{N} \int_{t_k + \tau_{k,1}}^{t_k + \tau_{k,1} + T_b} c_j(t - mT_c) n_p(t) dt \\ &= \frac{1}{N} \int_{t_k + \tau_{k,1}}^{t_k + \tau_{k,1} + T_b} c_j(t - mT_c) \sum_{l=1}^L \alpha_{k,l} \sqrt{2w_k^p} b_k^p(t) c_k(t - \tau_{k,l}) dt + n'_p(t) \\ &\quad m = 0, 1, \dots, M - 1; 1 \leq j, k \leq K \end{aligned} \quad (10)$$

Burada $n'_p(t) = \frac{1}{N} \int_{t_k+\tau_{k,1}}^{t_k+\tau_{k,1}+T_b} c_j(t - mT_c) n_p(t) dt$ gürültü bileşeni olduğu varsayılır.

Eğer tüm pilot sinyallerin gücü her bir kullanıcı için eşit tutulursa ve pilot semboller her bir kullanıcı için +1 aynı bit değerini alırsa Eş.10 aşağıdaki gibi şekillenir [1, 2].

$$p_{j,k}(m) = \frac{1}{N} \int_{t_k+\tau_{k,1}}^{t_k+\tau_{k,1}+T_b} c_j(t - mT_c) \sum_{l=1}^L \alpha_{k,l} c_k(t - \tau_{k,l}) dt + n'_p(t)$$

$$m = 0, 1, \dots, M-1; 1 \leq j, k \leq K \quad (11)$$

burada $p_{j,k}(m)$ alınan kod $c_k(t)$ ile $c_j(t - mT_c)$ lokal TKÇK korelatörü arasındaki kanal çevrimsel kaydırma korelasyon fonksiyonunun bir yaklaşımını ifade etmektedir.

$p_{j,k}(m)$ doğrudan bir kanal tahmini sunmayan, $\alpha_{k,l}$ ve $\tau_{k,l}$ gibi bilinmeyen kanal parametrelerini içeren bir fonksiyondur [1,2]. Her bir $p_{j,k}(m)$ değeri elde edildikten sonra $\hat{P}_j$ matrisi Eş. 6.34'deki gibi oluşturulur.

$$\hat{P}_j = \begin{bmatrix} p_{j,1}(0) & p_{j,2}(0) & \dots & p_{j,K}(0) \\ p_{j,1}(1) & p_{j,2}(1) & \dots & p_{j,K}(1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ p_{j,1}(M-1) & p_{j,2}(M-1) & \dots & p_{j,K}(M-1) \end{bmatrix} \quad (12)$$

Eşitliklerde görülen gürültü bileşeni kullanılmadığı sürece kesin bir kanal tahmini yapılabilirken, gürültünün etkisine bağlı olarak kanal tahmininin kesinlik oranı değişir [1,2].

3.2. VERİ SİNYALİNİN ÖN İŞLEMİ

Şekil 2'de verilen yapıda görülen m'inci TKÇK filtresinin $t = nT_b$ zamanında $c_j(t - mT_c)$ koduyla uyumlandırılmış çıkışı aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir.

$$y_j^{(n)}(m) = \frac{1}{N} \int_{nT_b}^{(n+1)T_b} c_j(t - mT_c) \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sqrt{2w_k^d} \alpha_{k,l} u_k^d(t - \tau_{k,l}) dt$$

$$+ \frac{1}{N} \int_{nT_b}^{(n+1)T_b} n_d(t) c_j(t - mT_c) dt$$

$$= \sum_{k=1}^K \sqrt{2w_k^d} \frac{1}{N} \int_{nT_b}^{(n+1)T_b} c_j(t - mT_c) \sum_{l=1}^L \alpha_{k,l} c_k(t - \tau_{k,l}) dt b_k^{(n)} + e(m)$$

$$(m = 0, 1, \dots, M-1; 1 \leq j \leq K; -\infty < n < \infty) \quad (13)$$

Bu eşitlikte,

$$e(m) = \frac{1}{N} \int_{nT_b}^{(n+1)T_b} n_d(t) c_j(t - mT_c) dt \quad (m = 0, 1, \dots, M-1) \quad (14)$$

olarak ifade edilir ve TKÇK filtre setinin çıkışının gürültü bileşenini gösterir [1, 2].

Veri sinyalinin tabi tutulduğu işlemler sonrasında elde edilen TKÇK filtre çıkışı,

$$Y_j = [y_j^{(n)}(0), y_j^{(n)}(1), \dots, y_j^{(n)}(M-1)]_{M \times 1}^T \quad (15)$$

şeklinde ifade edilir. Sonucun diğer değişkenlerle birlikte yazılan matris formu Eş. 16'da görüldüğü gibidir.

$$Y_j = P_j W b + \eta \quad (16)$$

Burada;

$$b = [b_1^{(n)}, b_2^{(n)}, \dots, b_K^{(n)}]_{K \times 1}^T \quad (17)$$

$$W = \text{diag} \left[\sqrt{2w_1^d}, \sqrt{2w_2^d}, \dots, \sqrt{2w_K^d} \right]_{K \times 1}^T \quad (18)$$

$$\eta = [e(0), e(1), \dots, e(M-1)]_{K \times 1}^T \quad (19)$$

Eş. 12'de elde edilen $\hat{P}_j$ kare bir matris olmadığı için Eş. 16'da verilen karar değişkeni denklemini çözmek oldukça zordur. Bu sorunun çözümü için P', η', Y' yardımcı matrisleri tanımlanır.

$$P' = P_j^T P_j \quad \eta' = P_j^T \eta \quad Y' = P_j^T Y_j \quad (20)$$

Böylece Eş. 16 aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y' = P' W b + \eta' \quad (21)$$

Bu durumda TKÇK sezicinin karar değişkeni Eş. 22'de verildiği gibi olur.

$$\hat{b} = \text{sgn}((P')^{-1} Y') = \text{sgn}(W b + (P')^{-1} \eta') \quad (22)$$

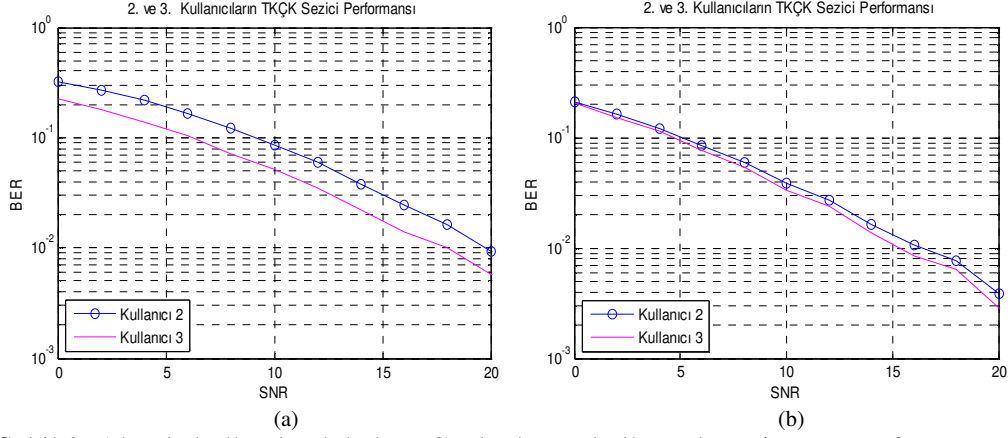
Buradan da anlaşılabileceği gibi $P' = P_j^T P_j$ matrisi bilindiği sürece tüm kullanıcılara ait veri sembolleri sezilebilir [1, 2].

4. BENZETİM ÇALIŞMALARI

4.1. BENZETİM 1

İlk olarak TKÇK çok kullanıcıli sezici tipinin kullanıldığı sistemlerin alıcıda kullanılan lokal koda bağlı olarak kullanıcı bazında BER analizi yapılmıştır. Simülasyon parametreleri olarak; mesaj uzunluğu 100 bit, kod uzunluğu 15 bit, tek kod çevrim sayısı 5 ve iterasyon sayısı 10000 belirlenmiştir. Bu sezici tipinin en ilginç özelliklerinden biri alıcı tarafında kullanılan lokal koda bağlı olarak her bir kullanıcıya ait performans değerinin değişiklik göstermesidir. Bu durumu genel anlamda alıcı tarafında lokal kod olarak j'inci kod olan $c_j(t)$ 'yi kullanmanın, j'inci kullanıcıya ait bilgilerin sezilmesinde faydalı olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Aşağıdaki şekilde 4 kullanıcıli bir sistemde 2. ve 3. kullanıcıların performansının önce 3. kullanıcıya ait

yayma kodu kullanılarak daha sonra ise 2. kullanıcıya ait yayma kodu kullanılarak değişimi gösterilmiştir. Burada 2. kullanıcının kendisine ait yayma kodunun kullanılmasıyla birlikte artan performansı gözlenebilmektedir.

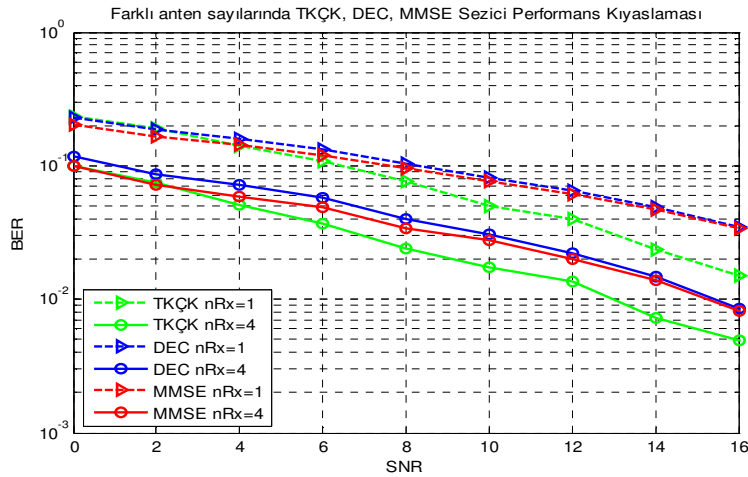


Şekil 3: Alıcıda kullanılan lokal TKÇK kodunun kullanıcılara ait BER performansına etkisi a) Lokal kod $c_3(t)$ b) Lokal kod $c_2(t)$

Gözlemlenen bu durum ışığında söz konusu sezici tipi için önerilebilecek bir çalışma yöntemi de, veri sezme işlemine başlamadan önce sistemde ulaşılabilir olan tüm kodları taramak ve istenen kullanıcı için en iyi performansı sağlayan kodun seçilerek veri sezme safhasında kullanılması olabilir.

4.2. BENZETİM 2

Bu bölümde yapılan çalışmada, 4 kullanıcıli farklı alıcı anten sayılarına sahip DD-KBÇE Sistemlerinin TKÇK, ilinti çözücü ve MMSE sezici yapıları kullanılarak performans analizi yapılmıştır. Parametre olarak; mesaj uzunluğu 100 bit, kod uzunluğu 15 bit, tek kod çevrim sayısı 5, verici anten sayısı 1, alıcı anten sayıları 1, 4 ve iterasyon sayısı 10000 belirlenmiştir.

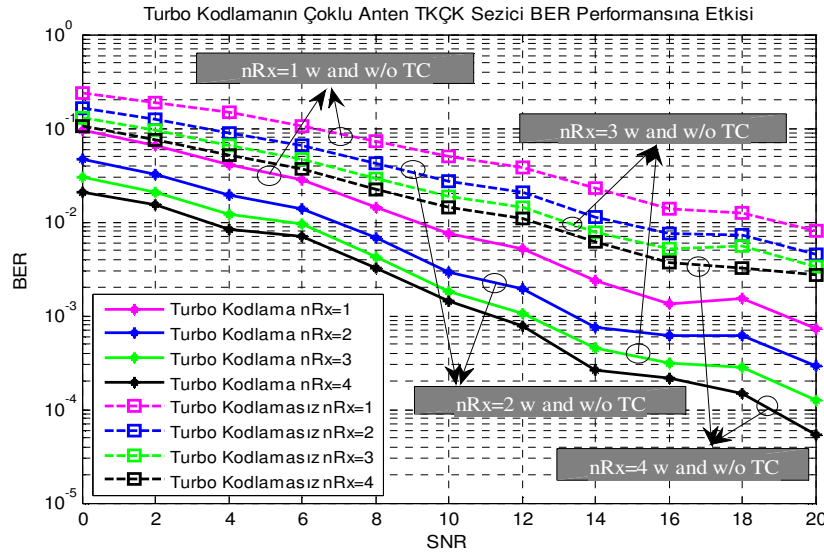


Şekil 4: Alma çeşitlemesi kullanılan 4 kullanıcıli Sistemlerde TKÇK, ilinti çözücü ve MMSE çok kullanıcıli sezici BER analiz sonuçları

Alıcı anten çeşitlemesi kullanılarak oluşturulan bu yapı, sistemde oluşan karışımın ortalama değerini düşürmesinin yanı sıra sistemdeki sönümlenme etkilerini de azaltmakta dolayısıyla da gönderilen sinyalin alıcı tarafta mümkün olan en güçlü şekilde elde edilmesini sağlamaktadır. Sonuçtan da anlaşılabileceği gibi alıcı anten çeşitlemesi tüm sezici tiplerinin performansında artışa sebep olmuştur. Elde edilen sonuç detaylı incelendiğinde 0 dB SNR değerinde tek antenli yapı için TKÇK ve ilinti çözücü sezici hata oranları yaklaşık olarak aynıyken 4 antenli alıcı yapısına geçildiğinde aynı SNR değerinde TKÇK sezici tipi ilinti çözücü seziciden daha iyi bir performansa sahiptir. Ayrıca tek antenli yapıda TKÇK sezici tipi yaklaşık 4 dB gibi bir sinyal gürültü seviyesinde diğer sezicilerden üstün performans sergilemeye başlarken artan anten sayısı ile birlikte tüm sinyal gürültü seviyelerinde diğer sezicilerden daha üstün bir performans göstermiştir.

4.3. BENZETİM 3

Bu bölümde, 4 kullanıcıyla farklı alıcı anten sayılarına sahip turbo kodlama kullanılan senkron DD-KBÇE sistemlerinde TKÇK çok kullanıcılı sezici performansı analiz edilmiştir. Parametre olarak; mesaj uzunluğu 100 bit, kod uzunluğu 15 bit, tek kod çevrim sayısı 5, verici anten sayısı 1, alıcı anten sayıları 1, 2, 3, 4 ve iterasyon sayısı 10000 belirlenmiştir. Turbo Kod oranı 1/3 olarak ele alınmış ve kod çözme algoritması olarak MAP algoritması kullanılmıştır.



Şekil 5: Çoklu alıcı anten yapısı ve Turbo kodlama tekniği kullanılan 4 kullanıcılı senkron DD-KBÇE sisteminde TKÇK çok kullanıcılı sezicinin BER analiz sonuçları

Yapılan bu çalışma ile birlikte bir sistemin performansını artırmak için kullanılabilecek iki yöntem birleştirilmiştir. Kullanılan sisteme Turbo kodlama ve alıcı anten çeşitleme tekniği birlikte uygulanarak TKÇK sezici tipinin performans analizi yapılmıştır. Kodlama teknikleri, sistemde iletilen mesaj paketlerinin iyi bir şekilde kodlanması ve iletim esnasında sistemden kaynaklı bozucu etkilerden en düşük oranda etkilenecek alıcı tarafta minimum hatayla elde edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan

Turbo kodlama ise kodlama aileleri içerisinde Shannon kapasite limitlerine en yakın sonuç verenidir. Simülasyon sonucundan, bir önceki çalışmada artan anten sayısı ile birlikte 12 dB SNR değerinde yaklaşık 10^{-2} bit hata oranı düzeylerine çekilebilen TKÇK sezici performansının, Turbo kodlama uygulanmasıyla birlikte aynı SNR değerinde 10^{-3} bit hata oranının altında seviyelere düştüğü görülebilmektedir.

5. SONUÇLAR

Yapılan ilk çalışma ile TKÇK sezicinin en karakteristik özelliği olan alıcıda kullanılan lokal koda bağlı olarak kullanıcılara ait BER sonuçlarının değişmesi durumu incelenmiştir. Burada görülmüştür ki alıcıda kullanılan lokal kod herhangi bir kullanıcının vericide kullanılan kodu ile aynı olduğunda bu durum özellikle o kullanıcıya ait BER performansında bariz bir iyileşmeye sebep olmaktadır. Daha sonra, 4 alıcı antenine sahip sistemlerde TKÇK, ilinti çözücü ve MMSE sezicilerinin performans analizleri yapılmış ve tek alıcı antenine sahip sistemlerin aynı analizleri ile kıyaslanmıştır. Bunun sonucuna göre, alıcı anten çeşitlenmesi TKÇK sezici üzerinde diğer sezicilerden daha iyi bir etki göstermiştir. Her üç sezici tipinin de artan anten sayısı ile birlikte performansında iyileşme görülürken, iyileşme oranının en yüksek olduğu sezici tipi TKÇK olmuştur. En son olarak üzerinde çalışılan üç iyileştirme yöntemi, TKÇK sezici, alma çeşitlenmesi ve Turbo kodlama özelliği birleştirilerek DD-KBÇE sistemlerine uygulanmış ve bu şekilde analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, artan anten sayısı ile birlikte oldukça iyileşen TKÇK sezici performansı, Turbo kodlama uygulamasıyla birlikte çok daha iyi düzeylere ulaşmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Chen, H. H. And Chang, Y. N., “A new pilot-added CDMA multiuser detection scheme- SCCS detector & its performance in multipath channels”, *IEEE Computer Society*, 1530-1346/03: 1-5 (2003).
2. Chen, H. H. And Guizani, M., “Next generation wireless systems and networks”, *John Wiley and Sons Inc.*, West Sussex, 79-93, 101-105 (2006).
3. Duel-Hallen, A., Holtzman, J., Zvonar, Z., “Multiuser detection for CDMA systems”, *IEEE Personal Communications*, 1070-9916/95: 46-58 (1995).
4. Reddy, Y. S., Reddy, M. V., Ayyanna, K. and Kishore, V. K., “Performance analyses of linear multiuser detectors for DS/CDMA systems over AWGN channel”, *International Journal of Electronics and Communication Engineering & Technology (IJECEET)*, 2(4): 918-923 (2012)
5. Proakis, J. G. And Salehi, M., “İletişim Sistemlerinin Temelleri 1’inci baskıdan çeviri”, Halis Altun, Ertan Öztürk, Yusuf Erkan Yenice, *Nobel Yayın ve Dağıtım*, Ankara, 623-639, 652-673 (2010)
6. Sorgucu, U., Kabalcı, Y., Develi, İ., “Kod bölmeli çoklu erişim haberleşmesinde yayma kodlarının bit hata oranı başarımları üzerine etkisi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(3):242-246 (2011)
7. Tekin, Y., “Sayısal haberleşmede turbo kodların simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-16, 30-37 (2008).