

KLASİK UZAY-ZAMAN KAFES KODLARINI KULLANAN İŞBİRLİKLİ ÇEŞİTLEMELİ SİSTEMLER İÇİN HATA PERFORMANS ANALİZİ

Hacı İLHAN

İbrahim ALTUNBAŞ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

e-posta: ilhanh@itu.edu.tr

e-posta: ibraltunbas@itu.edu.tr

ABSTRACT

In wireless communications, the cooperative diversity provides an effective way of improving spectral and power efficiency of wireless networks without using additional antennas. In this paper, we analyse the error performance of a multiple input multiple output (MIMO) system based on the cooperative diversity using amplify and forward method. For evaluated system, it is shown by computer simulations that conventional space-time trellis codes designed based on the Euclidean distance criterion and Hamming distance-product distance criterion provide the best error performance in the quasi-static and fast fading channels, respectively.

Anahtar sözcükler: İşbirlikli Çeşitleme, MIMO Sistemler, Sönümlemeli Kanallar, Uzay-Zaman Kafes Kodlar

1. GİRİŞ

Telsiz iletişim sistemlerinde kullanılan kanallarda görülen en önemli bozucu etki, çok yollu yayılımdan kaynaklanan sönümlemedir. Sönümleme etkilerine karşı koyma yöntemlerinden biri çok antenli, bir başka deyişle çok girişli çok çıkışlı (multi input multi output, MIMO) sistemler kullanmaktır. Bu yöntem anten çeşitlemesi olarak bilinir. Son yıllarda MIMO yapılar ve bu yapılarla uygun kod tasarımının araştırılması literatürde geniş ilgi görmektedir. Bu çalışmaların en önemlileri arasında Tarokh vd. [1] ve Alamouti [2] tarafından önerilmiş olan uzay-zaman kodları gelmektedir. Uzay-zaman kodlama tekniği, kanal kodlama ile anten çeşitleme tekniklerini birleştirerek tek antenli sistemlere göre daha iyi iletim hızına ve sönümlemeli kanallarda daha iyi hata performansına olanak sağlamaktadır. Tarokh vd. [1], duruğumsu (quasi-static) ve hızlı

sönümlemeli kanallar için kod tasarım kriterleri belirlemişler ve bu kriterlere göre uzay-zaman kafes kodlar tasarlamışlardır. Alamouti ise, blok kodlama ile anten çeşitlemesini birlikte kullanan bir sistem önermiştir. Tarokh vd.'nin [1]'de duruğumsu kanallar için önerdikleri tasarım kriteri rank ve determinant kriteridir. Rank kriteri maksimum çeşitleme kazancını sağlamak için kullanılır. Determinant kriteri ise kodlama kazancını maksimum yapmak için kullanılır. Hızlı sönümlemeli kanallarda ise simgelerarası Hamming uzaklığı ve çarpımsal uzaklık kriterleri geçerlidir [1].

Sonra, daha yeni tasarım ölçütleri ve daha iyi hata performansı sağlayan kodlar önerilmiştir (örneğin, [3-7]). Chen vd. [4], [7] duruğumsu sönümlemeli kanallarda verici ve/veya alıcıda çok sayıda anten kullanıldığında rank ve determinant kriterinin geçerli olmadığını ve MIMO kanal özelliklerinin beyaz Gauss gürültülü kanal özelliklerine yaklaştığını göstermişlerdir. Bu durumda hata performansı, kanaldan gönderilmesi olası bütün farklı simge dizileri arasındaki minimum Öklid uzaklığına göre belirlenmektedir. Bu tasarım kriteri Öklid uzaklık kriteri olarak adlandırılır. Yeterince çok antenli durumda bu kriterin hızlı sönümlemeli kanallar için de geçerli olduğu gösterilmiştir [7].

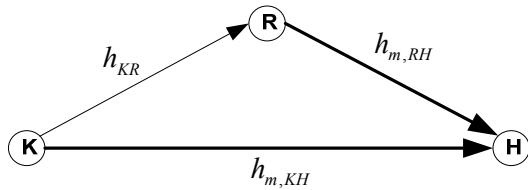
Verici anten çeşitlemesi yöntemleri özellikle hücresel sistemlerin baz istasyonları için uygun olmasına karşın, boyut, maliyet ve donanım karmaşıklığı açısından gezgin birimler için çok uygun değildir. Bu probleme bir çözüm olarak 2002'de Laneman vd. [8] tarafından ortaya atılan "işbirlikli çeşitleme (cooperative diversity)" tekniği kullanılabilir. İşbirlikli çeşitlemede kaynak kullanıcısı, bilgisini doğrudan ve bir veya birden fazla partner (röle) üzerinden hedef-alıcıya göndererek verici çeşitlemesi sağlamaktadır. İşbirlikli çeşitlemenin temeli Cover ve El Gamal

tarafından [9]'da verilen klasik röleli çalışmalarına kadar uzanmaktadır. İşbirlikli iletişim sistemlerinde kullanıcılar hem röle hem de bilgi kaynağı olarak çalışmaktadırlar. Kullanıcıların röle görevini üstlendiklerinde uygulayacakları işlemlere göre işbirlikli tasarım yöntemleri, “kuvvetlendir ve ilet”, “algıla ve ilet” ve “kodlamalı işbirliği” olmak üzere üç ana grupta toplanmıştır. Bu yöntemler, Laneman vd. [8], Sendonaris [10] ve Hunter vd. [11] tarafından önerilmiştir. Üstün-dik (super-orthogonal) uzay-zaman kafes kodların işbirlikli çeşitleme sistemlerindeki performansları Uysal vd. tarafından [12] duruğumsu kanallar için incelenmiştir.

Bu çalışmada, [12]'deki yapı temel alınarak, “kuvvetlendir ve ilet” yöntemi kullanan işbirlikli sistemin hata performansı bilgisayar benzetimleri yardımıyla incelenmektedir. [12]'dekenden farklı olarak klasik uzay-zaman kafes kodlarının kullanıldığı, alıcı kısımda 2 anten olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, duruğumsu sönümlenmeli kanal yanında hızlı sönümlenmeli kanal için de analiz yapılmaktadır.

2. SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada, kaynak kullanıcısı (K) bilgisini, hedef-alıcıya (H) partner (R) yardımıyla gönderen bir telsiz iletişim sistemi düşünülmüştür [12]. K ve R, tek verici ve alıcı antene sahip, buna karşın H “ n_R ” adet alıcı antene sahiptir. Ele alınan İşbirlikli iletişim modeli Şekil 1’deki gibidir.



Şekil 1. İşbirlikli iletişim modeli.

Şekil 1’deki h_{KR} , $h_{m,KH}$ ve $h_{m,RH}$ (m , H’deki alıcı anteni belirtmektedir) sırasıyla, $K \rightarrow R$, $K \rightarrow H$ ve $R \rightarrow H$ arasındaki kanalın kompleks sönümlenme katsayılarını göstermektedir. Bu çalışmada, 3 kanaldaki dağılımın aynı olduğu kabul edilmektedir. K ile H arasındaki iletişim iki zaman dilimine ayrılmıştır. Birinci zaman diliminde K, bilgisini R’ye göndermektedir. Bu zaman diliminde K ile H arasında herhangi bir iletişim olmamaktadır. İkinci zaman diliminde hem K hem de R, bilgilerini H’ye göndermektedirler. Burada R birinci zaman diliminde K’dan aldığı gürültülü işaretini kuvvetlendirerek H’ye göndermektedir. K tarafından birinci ve ikinci zaman dilimlerinde gönderilen simgeler x_1 ve x_2 olsun. Birinci zaman diliminde R’ye gelen gürültülü işaret,

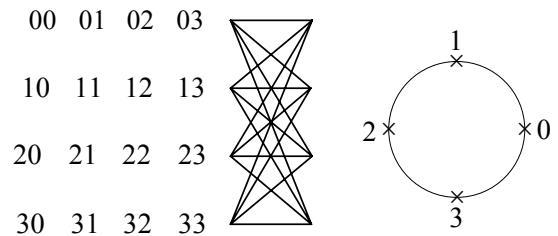
$$r_R = \sqrt{E_{KR}} h_{KR} x_1 + n_R \quad (1)$$

olacaktır. Burada E_{KR} , $K \rightarrow R$ arasındaki yol kayıpları ve olası gölgeleme etkileri hesaba katılarak bulunan R’deki ortalama enerjiyi belirtmektedir. n_R sıfır ortalamalı boyut başına $N_0/2$ varyanslı beyaz Gauss gürültüsünü ifade etmektedir. R rölesi aldığı r_R işaretini $\sqrt{E[|r_R|^2]}$ ile normalize ederek ikinci zaman diliminde H’ye göndermektedir. H’de m . alıcı antendeki işaret ($m = 1, 2, \dots, n_R$),

$$r_{m,H} = \sqrt{E_{RH}} h_{m,RH} \frac{r_R}{\sqrt{E[|r_R|^2]}} + \sqrt{E_{KH}} h_{m,KH} x_2 + n_{m,H} \quad (2)$$

olacaktır. E_{KH} ve E_{RH} sırasıyla, $K \rightarrow H$ ve $R \rightarrow H$ arasındaki yol kayıpları ve olası gölgeleme etkileri hesaba katılarak bulunan H’deki ortalama enerjiyi belirtmektedir. $n_{m,H}$ sıfır ortalamalı boyut başına $N_0/2$ varyanslı beyaz Gauss gürültüsünü ifade etmektedir.

Giriş bölümünde de belirtildiği üzere bu çalışmada klasik uzay-zaman kafes kodları ele alınmaktadır. Şekil 2’de örnek olarak Tarokh vd. [1]’nin tasarladıkları 4 durumlu kafes kod görülmektedir. Kafesin sol yanındaki rakamlar kafes dallarına karşı düşen QPSK simgelerini göstermektedir. Şeklin sağ kısmında ise QPSK işaret uzayı görülmektedir.



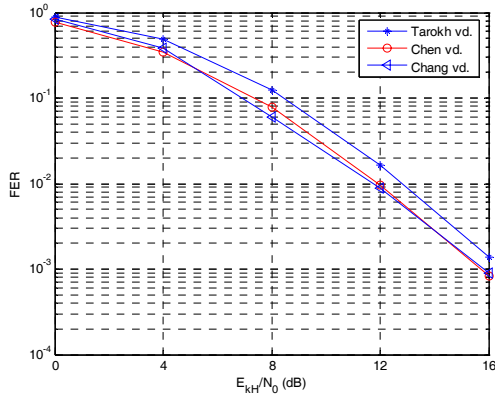
Şekil 2. Tarokh vd. [1] 4 durumlu uzay-zaman kafes kodu ve QPSK işaret uzayı.

Kafes dalları üzerindeki QPSK simgeleri sırasıyla birinci ve ikinci antene aittir. Bu kodun Şekil 1’deki işbirlikli iletişim sistemde kullanılışı şu şekildedir: Birinci zaman diliminde birinci anten bilgileri K’dan R’ye gönderilmektedir. İkinci zaman diliminde ise ikinci anten bilgileri K’dan H’ye ve R tarafından birinci zaman diliminde alınan gürültülü işaretler kuvvetlendirilerek H’ye gönderilmektedir. H’de uygun kod çözme algoritması kullanılarak gönderilen bilgi dizisine karar verilmektedir.

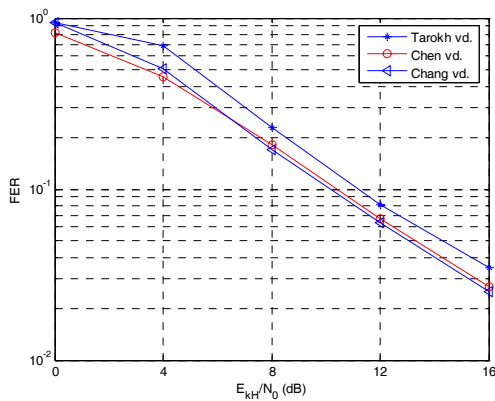
3. BENZETİM SONUÇLARI

Bu bölümde Tarokh vd. [1] ve Chen vd. [4]’nin 4 durumlu uzay zaman kafes kodlarının, ele alınan işbirlikli sistemde kullanılması durumunda,

duruğumsu kanal altındaki hata performansları verilmektedir. Bunların yanında, [13]'de verilen, Chang vd. [14] tarafından önerilen katlamalı kod temel alınarak Öklid uzaklığına göre tasarlanmış kodun hata performansı da verilmektedir. Ayrıca Tarokh vd. [1]'nin ve hızlı sönmleme altında az antenli durumda en iyi hata performansına sahip Firmanto vd. [5]'nin 4 durumlu uzay-zaman kafes kodlarının hızlı sönmleme altındaki hata performansları verilmektedir. Burada hedef alıcının $n_R=2$ antene sahip olduğu ve kanal katsayılarının Rayleigh dağılımlı olduğu varsayılmıştır. QPSK modülasyonu kullanılmış ve $E_{KH} = E_{RH}$ kabul edilmiştir. Verici anten başına çerçeve uzunluğu 130 simge varsayılmıştır. Hedef alıcıda kod çözme algoritması olarak Viterbi algoritması kullanılmıştır. Duruğumsu sönmlemeli kanal altında bilgisayar benzetimleri ile elde edilen çerçeve hata olasılığı (frame error rate, FER) performans eğrileri $E_{KR}/N_0=30$ dB ve $E_{KR}/N_0=10$ dB için sırasıyla Şekil 3a) ve 3b)'de verilmektedir.



a) $E_{KR}/N_0 = 30$ dB



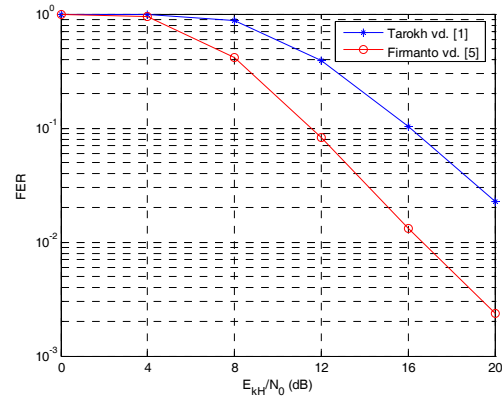
b) $E_{KR}/N_0 = 10$ dB

Şekil 3. İşbirlikli çeşitleme için duruğumsu kanalda hata performans eğrileri.

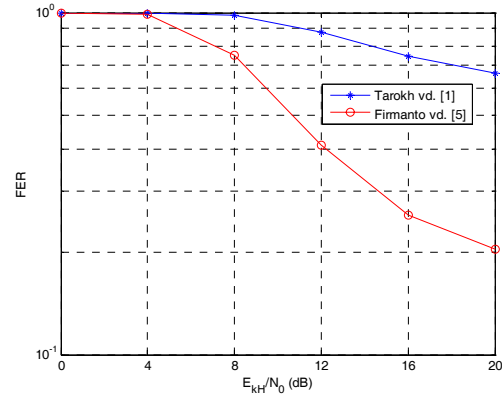
Öklid uzaklık kriterine göre tasarlanan uzay-zaman kafes kodlarının hata performans eğrileri, rank ve determinant kriterine göre tasarlanan uzay-zaman

kafes kodlarının hata performans eğrilerine göre daha iyi olduğu Şekil 3'te görülmektedir. Buradan, sistemdeki toplam anten sayısının artması durumunda yine Öklid uzaklığına dayalı kodların daha iyi performans vereceği anlaşılabilir. Ayrıca şekilden görülmektedir ki, Chen vd. [4] tarafından önerilen uzay-zaman kodu, [14]'te verilen kod ile yaklaşık aynı performansı sağlamaktadır. $K \rightarrow R$ arasındaki kanalın işaret-gürültü oranı küçük olduğunda H'deki hata performans eğrilerinde E_{KH}/N_0 'ın belli bir değerinden sonra hata katı (error floor) meydana gelmektedir.

Hızlı sönmlemeli kanal altında elde edilen hata performans eğrileri ise $E_{KR}/N_0=30$ dB ve $E_{KR}/N_0=10$ dB için sırasıyla Şekil 4a) ve 4b)'de verilmektedir.



a) $E_{KR}/N_0 = 30$ dB



b) $E_{KR}/N_0 = 10$ dB

Şekil 4. İşbirlikli çeşitleme için hızlı sönmlemeli kanalda hata performans eğrileri.

Şekil 4'ten görüldüğü gibi, Firmanto vd. [5]'nin kafes kodu daha iyi hata performansı sağlamaktadır. [5]'teki kodun kullanımı ile elde edilen SNR kazancı, düşük E_{KR}/N_0 değerlerinde daha da artmaktadır. Burada da, hızlı sönmlemeli Rayleigh kanalda E_{KH}/N_0 'ın belli bir değerinden sonra hata katı (error floor) meydana gelmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, literatürdeki klasik uzay zaman kafes kodlarının “kuvvetlendir ve ilet” yöntemini kullanan işbirlikli çeşitleme sistemlerindeki hata performansı incelenmiştir. Ele alınan sistem için, duruğumsu sönümlemeli kanalda Chen vd. [4], hızlı sönümlemeli kanalda Firmanto vd. [5] tarafından önerilen kodların daha iyi performans sağladığı gösterilmiştir.

5. KAYNAKLAR

[1] V. Tarokh, N. Seshadri, ve A. R. Calderbank, “*Space-time codes for high data rate wireless communications: Performance criterion and code construction*,” IEEE Transaction on Information Theory, cilt-44, s. 744–765, Mart 1998.

[2] S.M. Alamouti, “*A simple transmit diversity technique for wireless communications*” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, s. 1451–1458, Ekim 1998.

[3] S. Baro, G. Bauch ve A. Hansmann, “*Improved codes for space-time trellis-coded modulation*”, IEEE Communications Letters, cilt-4, s. 20–22, Ocak 2000.

[4] Z.Chen, J. Yuan ve B. Vucetic, “*Improved space-time trellis coded modulation scheme on slow Rayleigh fading channels*”, IEE Electronics Letters, cilt-37, s. 440-441, Mart 2001.

[5] V. Firmanto, B.S Vucetic ve J.Yuan, “*Space-Time TCM with Improved Performance on Fast Fading Channels*”, IEEE Communications Letters, cilt-5, s. 154–156, Nisan 2001.

[6] H. Jafarkhani, ve N. Seshadri, “*Super-orthogonal space-time trellis codes*”, IEEE Transactions On Information Theory, cilt-49, no. 4, s. 937–950, Nisan 2003.

[7] J. Yuan, Z. Chen, B. Vucetic, W. Firmanto, “*Performance and design of space-time coding in fading channels*”, IEEE Transactions On Communications., cilt-51, s. 1991-1996, Aralık 2003.

[8] J. N. Laneman, G.W., Wornell ve D.N.C., Tse, “*An efficient protocol for realizing cooperative diversity in wireless networks*”, IEEE International Symposium On Information Theory, s. 294, Haziran 2001.

[9] Thomas M. Cover ve Abbas A. El Gamal, “*Capacity theorems for the relay channel*,” IEEE Transactions On Information Theory, cilt-25, s. 572–584, Eylül 1979.

[10] A. Sendonaris, E. Erkip, ve B. Aazhang, “*User cooperation diversity – Part I: system description*”, IEEE Transactions On Communications, cilt-51, s. 1927–1938, Ekim 2003.

[11] T.E., Hunter ve A., Nosratinia, “*Performance analysis of coded cooperation diversity*”, IEEE International Conference on Communications, cilt-4, s. 2688-2692, Mayıs 2003.

[12] O., Canpolat ve M., Uysal, “*Super-Orthogonal space-time trellis coded cooperative diversity systems*,” Vehicular Technology Conference, cilt-4, s. 2429-2433, Eylül 2004.

[13] M., Uysal, ve O., Canpolat, “*On the Distributed Space-Time Signal Design for a Large Number of Relay Terminals*”, IEEE Wireless Communication and Networking Conference, cilt-2, s. 990-994, Mart 2005.

[14] J.J., Chang, D.J., Hwang ve M.C., Lin, “*Some extended results on the search for good convolutional codes*”, IEEE Transaction on Information Theory, cilt-43, s. 1682-1697, Eylül 1997.