

# Kısmi Yanıtlı Sönümlmeli Kanallarda Kafes Kodlamalı Modülasyon için Uzay Zaman Kodlama

Ömer ERKAN\* , Onur OSMAN\*\* , Osman Nuri UÇAN\*

\*İstanbul Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Müh.Bölümü  
34850 Avcılar, İstanbul  
[erkan@istanbul.edu.tr](mailto:erkan@istanbul.edu.tr) , [uosman@istanbul.edu.tr](mailto:uosman@istanbul.edu.tr)

\*\*İstanbul Ticaret Üniversitesi  
Ragıp Gümüşpala Cd. No:84  
34378 Eminönü, İstanbul  
[oosman@iticu.edu.tr](mailto:oosman@iticu.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada Kafes Kodlamalı Modülasyon (Trellis Coded Modulation,TCM) tekniği Uzay-Zaman Kodları ile birleştirilerek  $1+D$  Kısmi Yanıtlı Sönümlmeli kanallarda hata başarımı incelenmiştir. Burada  $D$ ; bir modülasyon aralığı  $T$  'ye karşılık gelen birim gecikme operatörüdür. Yani kanala gönderilen işaret bir önceki modülasyon anında gönderilen işaret ile toplanarak iki işaret bilgisini içerir. Kanalin bu etkisini ortadan kaldırmak için işaretler antenlerden gönderilmeden önce ön kodlayıcılardan geçirilerek gönderilir. İncelenen sistemin hata başarım eğrileri değişik sönümleme parametreleri  $K$ , faz distorsiyonları  $\alpha$  ve farklı sinyal-gürültü oranları için çikartılmıştır.

## 1. Giriş:

Gezgin iletişimde, çokyollu sönümleme şiddetli genlik ve faz distorsiyonuna neden olur. Dolayısıyla, daha fazla bant genişliği kullanmadan yada daha fazla güç kullanmadan bu sönümleme etkisiyle alıcı ve verici tarafında başa çıkmak haberleşme sisteminin başarısı için çok önemlidir. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için çeşitlilikten yararlanılabilir. Son zamanlarda çeşitleme yükünü baz istasyonuna verirken aynı zamanda baz istasyonu-mobil alıcı hattında anten çeşitliliğinden faydalanmak için değişik iletim çeşitlilik teknikleri tanıtılmıştır. [1],[2] ve [3]'de Uzay Zaman Kafes Kodlama yöntemi(Space Time Trellis Coding); kodlama, modülasyon, iletim çeşitliliği ve seçimli alıcı çeşitliliğinin ortak tasarımı olarak tanıtılmıştır.

Bu çalışmanın ana hatları şöyledir. 2. bölümde Kafes Kodlamalı Modülasyon(TCM) tekniği anlatılmış ve başarımleri verilmiş, 3. bölümde Uzay Zaman Kodlama(STC) anlatılmıştır. 4. bölümde incelenen sistem detaylı olarak açıklanmış ve matematiksel modeli verilmiştir. 5. bölümde incelenen sistemin hata başarımı çikartılmıştır. Son olarak 6. bölümde sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. Kafes Kodlamalı Modülasyon:

Kodlama ve modülasyonun birlikte düşünüldüğü kafes kodlama tekniği(TCM) ilk defa Ungerboeck tarafından önerilmiştir [4]. TCM sistem tasarımında, kafes yapısı üzerindeki ikili kod dizileri yerine bu dizilere atanan modülasyonlu kanal işaretleri yerleştirilir. Kanal işaretleri  $(a_i, b_i)$  arasındaki karesel öklid uzaklığı  $d^2(a_i, b_i)$  ile gösterilmiştir. Alıcı kısımda yumuşak kararlı kodçözücünün en büyük olasılıkla yapabileceği hata, iletilen belli bir simge dizisi yerine, buna en yakın Öklid uzaklıklı simge dizisine karar vermektir. Kafes yapıda aynı durumdaki ayrılan ve bir veya daha fazla geçişten sonra aynı adımda birleşen tüm kanal işaret dizileri arasındaki karesel uzaklıkların en küçüğü "serbest Öklid uzaklığı" olarak tanımlanır ve

$$d_{SE}^2 = \min \left\{ \sum_{a_i \neq b_i} d^2(a_i, b_i) \right\} \quad (1)$$

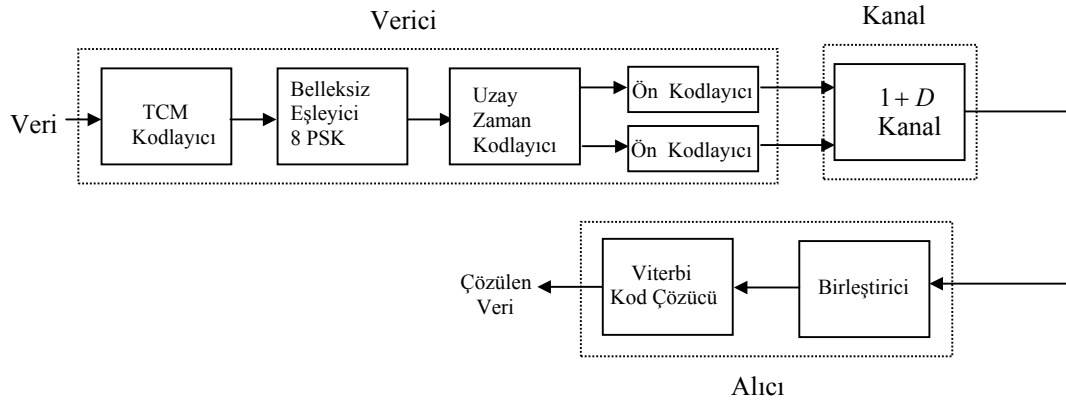
ifadesi ile verilir [4]. Toplamsal Gauss gürültülü kanallarda yüksek işaret/gürültü oranları için sistemin hata başarım ölçütü serbest Öklid uzaklığıdır. Hata başarımını iyileştirmek için kodun serbest Öklid uzaklığı artırılmalıdır.

Kodlayıcı çıkışındaki ikili dizilerin modülasyonlu işaretlere eşlenmesi “küme bölmeleyerek eşleme”(mapping by set partitioning) [4] yöntemine göre yapılır. Bu kurala göre, gereğinden iki kat fazla elemandan oluşan kanal işaretleri kümesi, belli bir simetri altında, aralarındaki Öklid uzaklığı giderek artacak şekilde daha az elemanlı alt kümeler bölünmektedir. Daha sonra oluşturulan bu alt kümeler, seçilen kafes yapının durum geçişlerine, kodlayıcının üreteceği kanal işaret dizileri arasındaki serbest Öklid uzaklığı maksimum olacak biçimde atanmaktadır. Bu işlem sırasında, bütün kanal işaretlerinin eşit sayıda kullanılmasına, kalkış ve varış durumlarına atanan alt kümelerin maksimum olmasına dikkat edilmelidir. Alıcı yapısında demodülasyon ve kodçözme işlemleri birbirinden ayrı değil tek bir adım gibi düşünülerek Viterbi kodçözücüsü ile kodçözme işlemi yapılır.

### 3. Uzay Zaman Kodlama:

Sönümlenmeli ortamlarda çokyollu zayıflamanın etkisini azaltmak için anten çeşitliliğini sağlayan Uzay Zaman kodlarını kullanmak etkili ve çok kullanılan bir yöntemdir [2][3]. Uzay Zaman kodlama rician sönümlenmeli ortamlarda çok verici anteni kullanmanın faydasını gerçekleyen bant ve güç verimli bir haberleşme metodudur. Birden fazla anten kullanılarak, bir yoldan gönderilen işaret şiddetli zayıflamaya uğrasa bile diğer antenden gönderilen işaret alıcıya şiddetli sönümlemeye uğramadan ulaşması sağlanır. Uzay Zaman kodlamasında birinci kodlama adımında her bir antenden farklı bir işaret gönderilir. İkinci kodlama adımında ise bu işaretlerin konjugelerinden oluşan işaretler belirli bir kurala göre gönderilir. Örnek olarak iki vericili bir sistemde birinci kodlama adımında birinci antenden  $s_0$  işareti, ikinci antenden  $s_1$  işareti gönderilir. İkinci kodlama adımında birinci antenden  $-s_1^*$  işareti, ikinci antenden  $s_0^*$  işareti gönderilir. Burada  $*$  işaretin kompleks konjugesini gösterir. Eşleyiciden çıkan kodlanmış işaretler bu kurala uygun olarak kodlanırlar.

### 4. İncelenen Sistem Modeli:

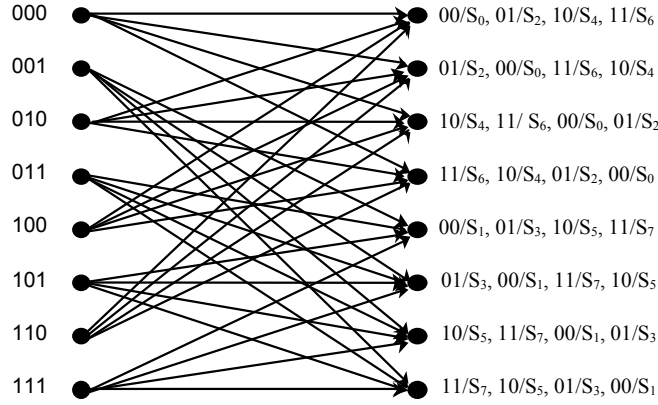


Şekil 1. Uzay Zaman kodlamalı TCM sistemin blok diyagramı

Ele alınan sistemin blok diyagramı Şekil 1’de görülmektedir. TCM kodlayıcısı 2/3 oranlı üç bellekli katlamalı bir kodlayıcıdır. Bu kodlayıcının kafes diyagramı Şekil 2’de görülmektedir. Belleksiz Eşleyici (BE) kodlanmış ikili dizileri doğal eşleme ( $000 \rightarrow s_0, 001 \rightarrow s_1, \dots, 111 \rightarrow s_7$ ) yöntemine göre eşleyerek 8 PSK(Phase Shift Keying) işaretlere dönüştürür. Uzay Zaman kodlayıcısı eşlenmiş işaretleri iki antene şu kurala göre kodlama yapar. Buna göre ilk kodlama adımı  $t$  anında birinci antenden  $s_0$  işareti, ikinci antenden  $s_1$  işaretini gönderir. Bir sonraki kodlama adımı  $(t+T)$  anında birinci antenden  $-s_1^*$  işaretini, ikinci antenden  $s_0^*$  işaretini gönderir. Bu kurala göre kodlanan işaretler antenlere gönderilmeden önce ön kodlayıcıdan geçirilirler. Kanal  $1+D$  kısmı yanıtlı sönümlenmeli kanaldır. Burada  $D$ ; bir modülasyon aralığı  $T$ ’ye karşılık gelen birim gecikme operatörüdür. Yani kanala gönderilen işaret bir önceki modülasyon anında gönderilen işaret ile toplanır. Böylece kanala gönderilen işaret iki işaretten oluşur. Buda Viterbi kod çözücüsünün hatalı çalışmasına neden olur. Bu durumu ortadan kaldırmak için ön kodlayıcı kullanılmıştır. Ön kodlayıcı, bir önceki modülasyon anında gönderilen işareti şu anda gönderilecek olan işaretten çıkartır. Bu ilk bakışta gönderilen işaretin zayıflatıldığı gibi düşünülebilir ancak kanalda bu işaret ile tekrar toplanacağı için sadece gönderilmek istenen işaret kanaldan iletilmiş olur. Kanalin bu yansıma etkisi dışında işaret rician sönümleme katsayısı  $\rho$  ve  $e^{j\theta}$  ile çarpılır ve sıfır ortalamalı,  $N_0/2$  değışintili Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü(AWGN) ile toplanır. Burada  $\theta$ , olasılık yoğunluk fonksiyonu (2) ifadesinde verildiği gibi Tikhonov dağılımlı faz distorsiyonudur [5].

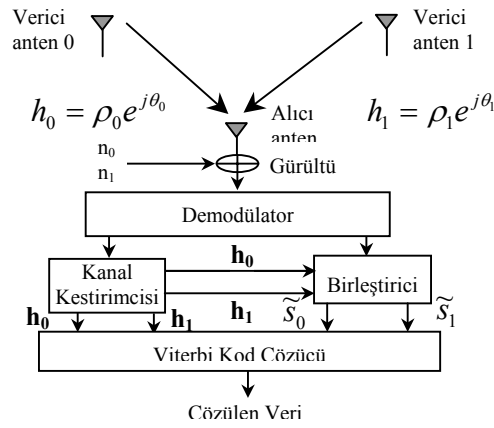
$I_0$  , sıfırncı derece, birinci türden modifiye Bessel fonksiyonu,  $\alpha$  taşıyıcı izleme döngüsündeki gerçek sinyal-gürültü oranıdır.

$$p(\theta) = \frac{e^{\alpha \cos(\theta)}}{2\pi I_0(\alpha)} \quad |\theta| \leq \pi \quad (2)$$



Şekil 2. 2/3 oranlı TCM kodlayıcı kafes yapısı

Alıcıda gelen işaretler Alamouti [1] tarafından önerilen Şekil 3'teki birleştirici yapısıyla alınır. Buna göre alınan işaretler demodüle edildikten sonra kanal kestirimcisi ve birleştirici kullanarak basit matematiksel işlemlerden sonra alınan işaretler kod çözücüye gönderilirler.



Şekil 3. Uzay Zaman kodlamalı TCM sistemin alıcı yapısı

Burada  $h_0$  verici anten 0 ile alıcı arasındaki kanal,  $h_1$  verici anten 1 ile alıcı arasındaki kanaldır.  $\rho_0$  ,  $\rho_1$  rician genlik sönümlenme katsayıları,  $\theta_0$  ,  $\theta_1$  faz gürültüleridir. Alıcıda alınan sinyaller şöyle ifade edilebilir.

$$r_0 = r(t) = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \quad (3.a)$$

$$r_1 = r(t+T) = -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \quad (3.b)$$

Şekildeki birleştirici ise (4.a) ve (4.b)'deki basit matematiksel işlemleri gerçekleştirir.

$$\tilde{s}_0 = h_0^* r_0 + h_1 r_1^* \quad (4.a)$$

$$\tilde{s}_1 = h_1^* r_0 - h_0 r_1^* \quad (4.b)$$

Büyüklikler yerlerine yazılıp gerekli sadeleştirmeler yapılırsa (5.a) ve (5.b)'deki denklemler elde edilir.

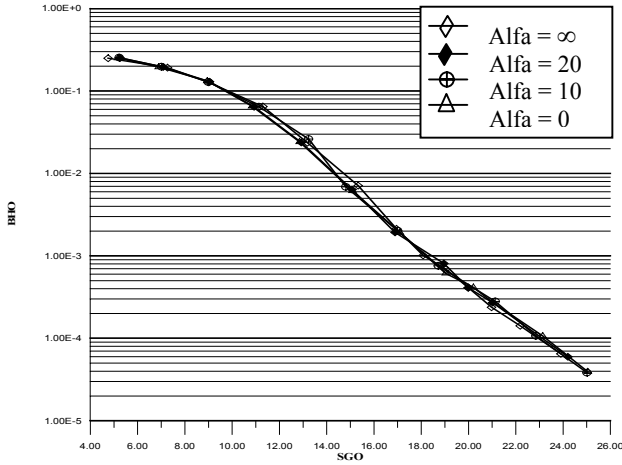
$$\tilde{s}_0 = (\rho_0^2 + \rho_1^2)s_0 + h_0^*n_0 + h_1n_1^* \quad (5.a)$$

$$\tilde{s}_1 = (\rho_0^2 + \rho_1^2)s_1 - h_0n_1^* + h_1^*n_0 \quad (5.b)$$

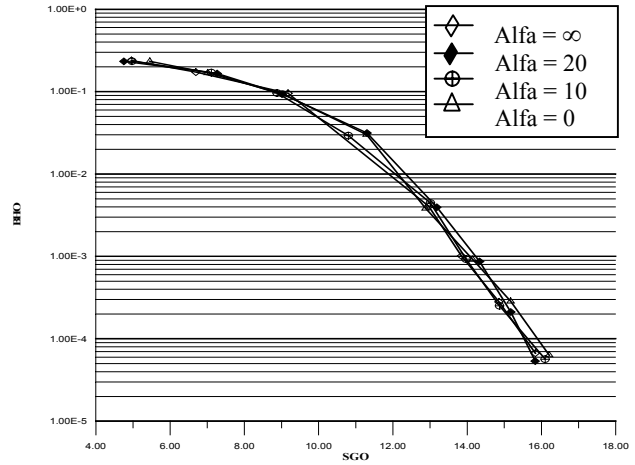
(5.a) ve (5.b) ifadelerinden de görüldüğü gibi genlik zayıflatma katsayılarının karesel toplamları gönderilen işaretler ile çarpılır. Bu işlem sayesinde işaretin genliğindeki zayıflama oldukça azaltılmış olur ve bu da hata başarımını iyileştirir. Birleştirici çıkışındaki  $\tilde{s}_0, \tilde{s}_1$  işaretleri Viterbi kod çözücüsü tarafından çözülür.

### 5. Uzak Zaman Kodlamalı TCM Sistemin Hata Başarımı:

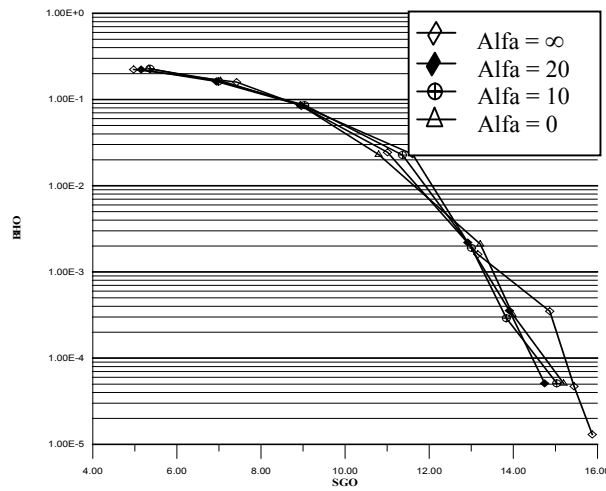
Sistemin hata başarım analizi için bilgisayar simülasyonlarından yararlanılmıştır. Kodlayıcı iki girişli, üç çıkışlı ve üç hafızalıdır dolayısıyla sekiz durumudur. Modülasyon türü 8PSK seçilmiştir. Anten konfigürasyonu iki verici bir alıcı anten olarak seçilmiştir. Kanalin Rician kanal olduğu ve mükemmel kanal parametresi kestirimi varsayılmıştır. Simülasyon sonuçları bit hata olasılığının(BHO) değişik sinyal-gürültü oranları(SGO) için değişimini göstermektedir. Bu eğriler sönmleme parametresi  $K=0, 10, \infty$  ve faz distorsiyonu  $\alpha=0, 10, 20, \infty$  değerleri için çıkartılmıştır. Bu eğriler Şekil 4,5,6 'da görülmektedir.



Şekil 4.  $K=0$  için BHO performansı



Şekil 5.  $K=10$  için BHO performansı



Şekil 6.  $K=\infty$  için BHO performansı

## 6. Sonuç:

Rician kanal parametresi  $K=0$  durumu Rayleigh sönümlenme durumuna karşılık gelir. Bu durumda kanalda sadece yansımalar mevcuttur ve işareti iletmek için en kötü ortamdır.  $K=\infty$  durumu ise sadece AWGN gürültüsünün olduğu durumdur.  $K=10$  durumu pratikte karşılaşılan kanallara karşılık gelmektedir. Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü gibi değişik  $\alpha$  değerleri için bit hata olasılıkları (BHO) hemen hemen değişmez. Bunun sebebi Uzay Zaman kodlamasıdır. Uzay Zaman kodlaması yapılarak kanaldaki faz distorsiyonunun etkisinin ortadan kalktığı yukarıdaki grafiklerdende görülmektedir. Gönderilen işaretin sadece genliği zayıflamaya uğrayarak alınır ve  $e^{j\theta}$  teriminin etkisi ortadan kalkar. Ayrıca Uzay Zaman kodlamalı TCM sistemin hata başarımı klasik tek verici, tek alıcılı TCM sistemlere göre daha iyidir.

## Kaynaklar:

- [1] S.M.Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communication" *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Sayı 16, No.8, Ekim 1998.
- [2] V.Tarokh, N.Seshadri, A.Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance criterion and code construction" *IEEE Transaction on Information Theory*, Sayı 44, sayfa 744-765, Mart 1998.
- [3] V.Tarokh, H.Jafarkhani, A.Calderbank, "Space-time codes from orthogonal design" *IEEE Transaction on Information Theory*, Haziran 1999.
- [4] Ungerboeck G., "Channel coding with multi-level/phase signals" *IEEE Transaction on Information Theory*, Sayı.IT-28, sayfa 55-67, Ocak 1982.
- [5] O.N.Ucan, O.Osman, S.Paker, "Turbo Coded Signals over Wireless Local Loop Environment", *International Journal of Electronics and Communications, AEU*, sayı 56, No.3, sayfa 163-168, 2002-07-13