

BPSK İŞARETLER İÇİN GÖZÜ KAPALI KAOTİK SNR KESTİRİCİ

Önder Haluk TEKBAŞ¹

Özet

İkili evre kaydırma anahtarlamalı (BPSK) işaretlerin toplanır beyaz Gauss gürültülü (AWGN) kanaldan iletiminde işaret-gürültü-oranı (SNR) değerinin kaotik bir yöntemle kestirimi gerçekleştirilmiştir. Yöntemin kaotik olarak sınıflandırılmasının gerekçesi; işaret işleme teknikleri arasında bir kırılca boyut hesaplama metodunun yer almasıdır. Geniş bir SNR aralığında sentezlenmiş gürültülü BPSK işaretlerden oluşan bir öğrenme bir de test kümesi hazırlanmıştır. Öğrenme kümesi yardımıyla, BPSK işaretlerin SNR değerleri ile kırılca boyut değerleri arasında bir polinom bağıntısı kurulmuş ve test kümesindeki işaretlerin SNR değeri bu bağıntı yardımıyla kestirilmiştir. Yöntemin başarımı "ortalama karesel hatanın karekökü" ve "yanlılık" ölçüt alınarak yazılı dizinde rapor edilen bir başka SNR kestirim yönteminin başarımı ile kıyaslanmıştır.

Anahtar Sözcükler: SNR kestirimi, kaotik işaret modelleme

Abstract

A signal-to-noise ratio (SNR) estimation technique is realized for binary phase shift keying (BPSK) signals in real additive white Gaussian noise (AWGN) using a chaotic approach. The approach is classified as chaotic because of the fact that it exists a fractal dimension calculation method among the signal processing techniques used in the study. Both a learning and a test set of noisy BPSK signals are synthesized in a wide SNR range. A polynomial relation is established between SNR and fractal dimension values of BPSK signals with the help of the learning set and the SNR values in test signals are estimated using this relation. The performance of the method is compared to that of another SNR estimator published in the literature using "the root mean square error" and "the bias" as performance metrics.

Key words: SNR estimation, chaotic signal modelling

1. Giriş

Haberleşme veya sinyal işleme uygulamalarındaki önemli problemlerden birisi gürültülü işaretlerdeki işaret-gürültü-oranı (SNR) değerinin kestirimidir. Bazı deneysel çalışmalarda SNR kestirimi gürültü hakkında sahip olunan bir "ön bilgi" yardımıyla yapılır. Örneğin, [1]'de, bir verici kimlik tespit sistemince yakalanan geçici rejim işaretlerindeki SNR kestiriminde, tetikleme öncesi ve sonrasına ait belirli örneklem bölgelerinin ortalama güç değerleri arasındaki oran kullanılmıştır. Ancak, bu tür yöntemler sadece gürültülü işaretin gözlemlenebildiği, gürültüsüz orijinal işaret veya gürültü hakkında az miktarda bilgi sahibi olduğu (ya da bu konuda hiç bir kabul yapılamadığı) durumlarda uygulanamazlar. Bu tür zorlayıcı SNR kestirim problemlerinde gözü kapalı kestirim teknikleri önerilir. Gözü kapalı SNR kestirim tekniklerinde amaç; gönderilen işaretin orijinal değerlerine bağlı kalmadan yalnızca alıcıda yakalanan gürültülü işaretin analizi yoluyla SNR değerinin kestirimidir. Literatürde yer alan gözü kapalı SNR kestirim tekniklerinden bazılarının bir özet değerlendirmesi için [2]'ye bakılabilir.

Bu bildiriye yeni bir gözü kapalı SNR kestirim tekniği önerilmekte ve bir kesikli, bant-sınırlı, temel-bant benzetim modeli yardımıyla gerçek değerli, toplanır beyaz Gauss gürültülü (AWGN) kanal varsayımı altında sentezlenen ikili evre kaydırma anahtarlamalı (BPSK) işaretler kullanılarak tekniğin başarımı test edilmektedir. Teknik, özet olarak, bir gözetlenebilir öğrenim yöntemi ile geliştirilmiştir: Geniş bir SNR aralığında yer alacak şekil-

¹ Kara Harp Okulu, Teknik Bilimler Bölüm Başkanlığı, 06654, Bakanlıklar, ANKARA

de yeteri sayıda gürültülü BPSK işaret sentezlenmiş ve bu işaretlerden oluşan bir öğrenme bir de test kümesi hazırlanmıştır. Öğrenme kümesindeki tüm işaretlerin kesirli boyut değerleri "variance fractal dimension" -değişinti kırılca boyutu (DKB)- hesaplama yöntemi [3] ile bulunmuş ve her işaretin SNR değerinin, DKB değerine karşılık gelecek şekilde çizilmesiyle bir SNR-DKB dağılımı elde edilmiştir. Bu dağılım incelendiğinde SNR ve DKB değerleri arasında karakteristik ve ilintili bir bağıntı olduğu gözlemlenmiş, bu bağıntı SNR-DKB dağılımıyla eşleştirilen bir polinom yardımıyla nicemsel olarak ifade edilmiş ve test kümesindeki işaretlerin SNR değerinin kestiriminde bahsi geçen polinom kullanılmıştır.

2. Bölümde SNR kestirim probleminin tanımı; 3. Bölümde BPSK işaretlerin kırılca boyut hesabıyla modellenmesi; 4. Bölümde BPSK işaretler için SNR-kırılca boyut ilişkisi verilmiştir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen DKB-destekli gözü kapalı kaotik SNR kestirici 5. Bölümde açıklanmış ve 6. Bölümde SNR kestiricinin başarımı test edilerek yazılı dizinde yer alan [2] bir veri-destekli en büyük olabilirlikli (DA ML) SNR kestiricinin başarımı ile kıyaslama yapılmıştır. 7. bölüm sonuç ve değerlendirme bölümüdür.

2. Problem Tanımı

Öğrenim ve test kümelerinin sentezlenmesinde Şekil 1'deki gerçek değerli, bant sınırlı, evre uyumlu, eşdeğer temel bant BPSK sistem modeli kullanılmıştır. Modelde kullanılan yükseltilmiş kosinüs filtresinde (YKF) yuvarlatma faktörü 0.5, filtre düğüm sayısı 97, yukarı örnekleme miktarı (N_{ss}) ise 16 örnekleme/saniye olarak seçilmiştir.

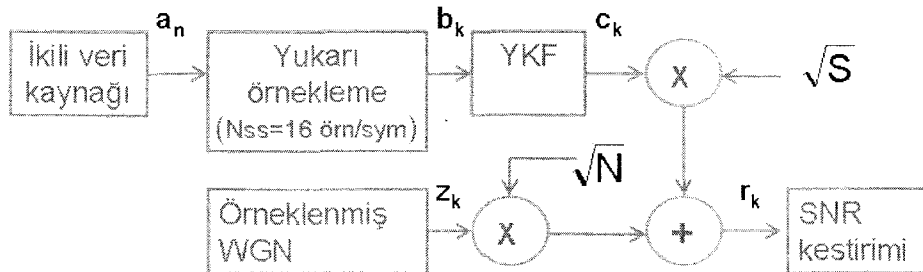
BPSK işaretler söz konusu olduğunda sistem modelindeki ikili veri kaynağı tarafından üretilen giriş sembolleri $a_n \in \{1, -1\}$ tarzında ifade edilebilir. Burada $n \in \{0, 1, \dots, N_{sym}\}$ ve N_{sym} giriş işaretinin blok uzunluğudur. N_{sym} ile her bir gürültülü BPSK işaretin (r_k) çerçeve uzunluğu (K) arasındaki bağıntı şu şekildedir:

$$K = N_{ss} N_{sym} \quad (1)$$

Bu çalışmada K , 2^n rejimine uygun olacak şekilde $\{256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192\}$ kümesinden seçilmiştir. Alıcıda yakalanan her işaret,

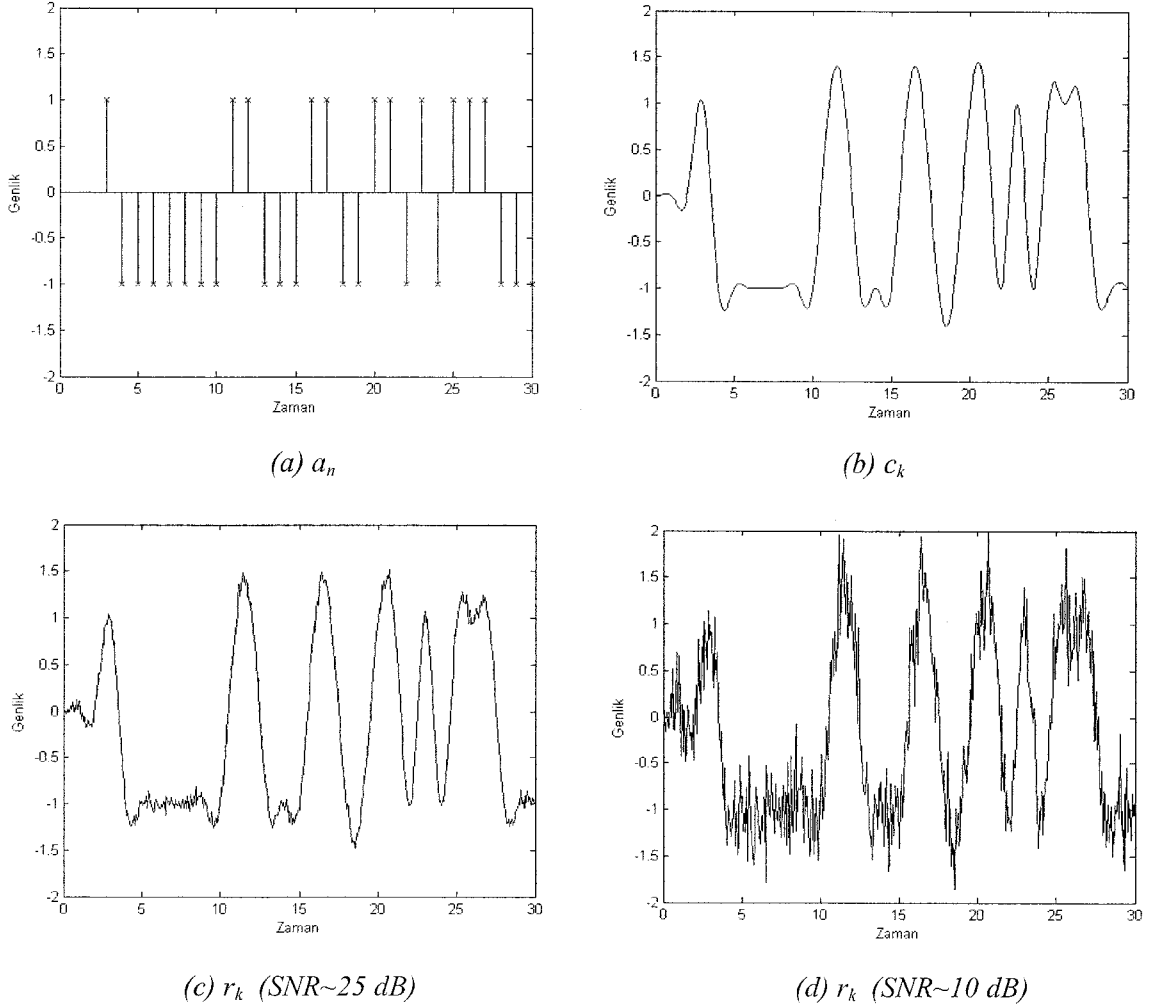
$$r_k = \sqrt{S}c_k + \sqrt{N}z_k \quad (2)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada, z_k rassal olarak üretilmiş, gerçek değerli, ortalaması sıfır, değişintisi 1 olan beyaz Gauss gürültüsü; N gürültü gücü ölçekleme katsayısı; S ise işaret gücü ölçekleme katsayısıdır.



Şekil 1. Eşdeğer temel bant sistem modeli

Problemin tanımını anlaşılır bir tarzda görsel olarak sunabilmek maksadıyla, sistem modelinin farklı noktalarındaki işaretlere ait kısa süreli birer örnek Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2 (c) ve (d)'deki işaretler dikkate alındığında bu çalışmada ele alınan problem, sadece alıcı girişinde kaydedilen sınırlı süreli gürültülü BPSK işaretleri (r_k) analiz etmek suretiyle SNR değerinin kestirilmesi problemi olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada, gürültülü BPSK işaretlerin analizi işaretlerden DKB hesaplama yöntemi kullanılarak uygun birer öznitelik çıkarılması esasına dayanmaktadır.



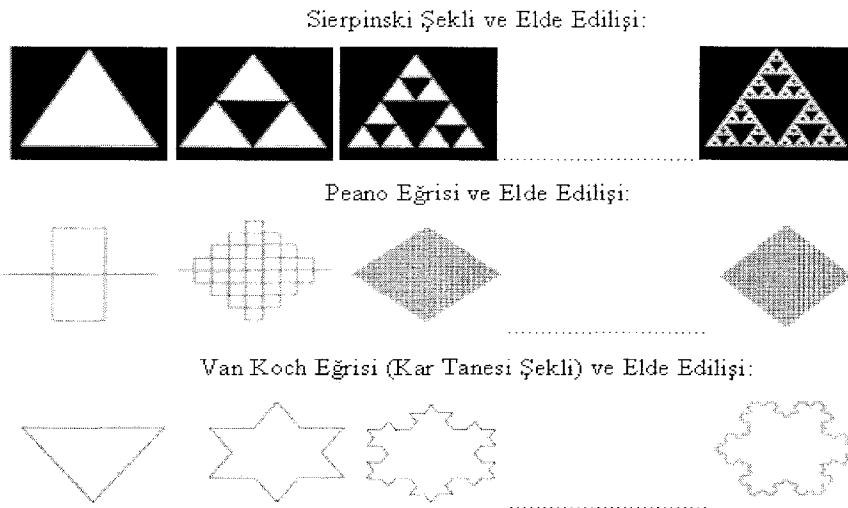
Şekil 2. İşaret örnekleri

3. BPSK İşaretlerin Kırılca Boyut Hesabıyla Modellenmesi

3.1. Kırılca eleman ve kırılca boyut

Kırılca (fractal) eleman, tanım olarak, bütününe tamamına benzeyen parçalardan oluşan şekillere verilen genel bir isimdir. Özel olarak tasarlanmış bazı "tam kırılca" (pure fractal) elemanlar Şekil 3'de gösterilmiştir.

Bilindiği üzere geometride sık karşılaşılan boyut değerleri (Euclid yada topolojik boyut değerleri) tamsayılardan oluşur. Kırılca boyut ise kesirli bir değer olup, kırılca bir elemanın kendi kendine benzemesinin veya düzensizliğinin sayısal bir ifadesidir. "Tam kırılca" elemaların kırılca boyut hesabı "Hausdorf-Besicovitch" veya "Kendi Kendine Benzerlik" boyut hesabı yöntemlerinden biri kullanılarak yapılabilir [4]. Tablo 1'de bazı temel geometrik şekiller ile Şekil 3'de verilen kırılca elemanların boyut hesapları sunulmuştur.



Şekil 3. "Tam kırılca" eleman örnekleri

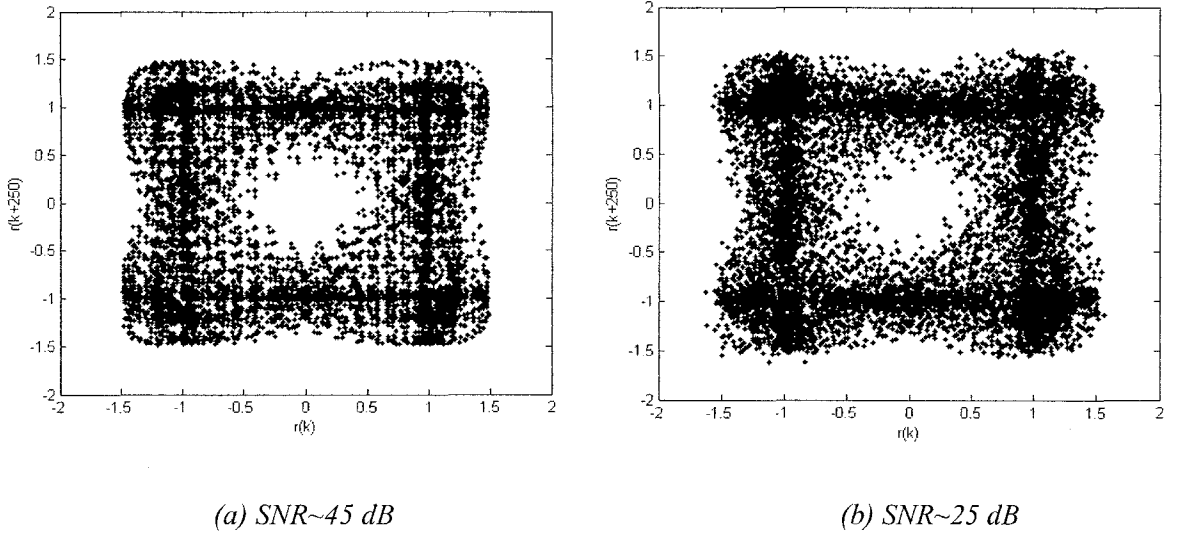
Tablo 1. Bazı temel şekillere ait boyut hesapları

	Topolojik boyut	Hausdorf-Besicovitch Boyutu
Doğru	1	1
Kare	2	2
Küp	3	3
Sierpinski şekli	1	1.58
Peano eğrisi	1	2.00
Kar tanesi şekli	1	1.26

3.2. Deneysel veriler ile kırılca boyut arasındaki ilişki

Deneysel çalışmalarda kaydedilen verilere ilişkin zaman serileri kaotik dinamik sistemlerin çıktısı olarak düşünülebilirler. Kaotik dinamik sistemlerin durum değişkenlerinin birbirine karşı çizilmesi ile elde edilen gezinge yapıları, garip çeker (strange attractor) olarak isimlendirilen tam olmayan bir kırılca elemanlara benzerler. Çeker, aslında, bir sistemin ulaşabileceği olası tüm durumları içeren geometrik bir yapıdır. Dinamik bir sistemi ifade eden diferansiyel ya da fark denklemleri biliniyorsa sistemin çekeri, durum değişkenleri bilindiği için, kolaylıkla oluşturulabilir. Ancak deneysel çalışmalarda elde edilen işaretlerin matematiksel denklemlerini veya değişken sayısını tam olarak bilmek mümkün değildir. Bu durumda, sadece bir değişkenin ölçülen değerleri bilinse dahi, çeker yapay bir evre uzayında oluşturulabilir. Yapay evre uzayının oluşturulması, ölçülen bir tek değişkenden diğer sistem değişkenlerinin elde edilmesidir. Genelde, yeni değişkenler, orijinal değişkenin kaymış halleri ya da sayısal türevleri olarak seçilir.

Tüm bu anlatılanlar ışığında, Şekil 1'deki model yardımıyla kaydedilen, ve Şekil 2 (d)'dekine benzer yapıdaki gürültülü BPSK işaretlerin ölçülen genlik değerlerini temel değişken olarak, bu değerlerin belirli bir miktar kaydırılmış halini de ikinci durum değişkeni olarak kabul ettiğimizde, bir gürültülü BPSK işaretin yapay evre uzayındaki gezinesi Şekil 4'dekine benzer bir yapıda oluşmaktadır. Bu çalışmada iki adet durum değişkeninin ve 250'lik bir kaydırma miktarının yeterli olacağı varsayılmıştır. Gürültü miktarının BPSK işaretin gezine yapısındaki düzensizliğe olan etkisini göstermek için Şekil 4'de iki farklı SNR değeri esas alınmıştır.



Şekil 4. Gürültülü BPSK işaretlerin gezine yapısı

Şekil 4'de gösterilen gezine yapıları (çekerler) birer tam olmayan kırılca elemanı çağrıştırmakta ve dolayısıyla gürültülü BPSK işaretlerdeki kaotik yapıyı görsel olarak ortaya koymaktadır. Ancak, bu çekerlerin nicemsel olarak karakterize edilebilmesi için çekerlerin metrik özellikleri, bir başka deyişle, kesirli boyut değerleri hesaplanmalıdır. Tam olmayan kırılca elemanların kırılca boyut hesabını bahsi geçen "Hausdorf-Besicovitch" ya da "Kendi Kendine Benzerlik" yöntemlerinden birini kullanarak yapmak mümkün olamamakta; bunların yerine, bu tür nesnelerin nicemsel olarak karakterize edilmesinde bazı kırılca boyut tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. Aşağıda bu tahmin yöntemlerinden bazıları listelenmiştir.

- Eşit aralık tahmin yöntemi-Pergel yöntemi (Compass dimension estimator)
- Eşit alan tahmin yöntemi-Kutu sayma yöntemi (Box dimension estimator)
- Genelleştirilmiş boyutlar (Generalized dimensions) ve bunlardan türetilmiş olan
- Değişinti kırılca boyutu yöntemi (variance fractal dimension)

Bu çalışmada değişinti kırılca boyutu hesaplama yöntemi esas alınmıştır.

3.3. Gürültülü BPSK işaretlerin değişinti kırılca boyutu

Çerçeve uzunluğu K olan ve kırılca özellik gösteren sınırlı süreli, gürültülü BPSK işareti bir zaman serisi olarak

$$r_k: (0 \leq k \leq K) \quad (3)$$

ifadesi ile gösterirsek, zaman serisinin değışintisi, zamanla değışmekte ve (Δt) değerkli zaman ilerlemeleri ile arasındaki bağıntı

$$\text{Var}(\Delta r_{\Delta t}) \approx \Delta t^{2H} \quad (4)$$

ile verilmektedir. Burada H, Harold Edwin Hurst ismindeki İngiliz bilimadamının anısına, “Hurst katsayısı” olarak adlandırılmakta [3], (Δt) n uzunluğundaki bir zaman ilerlemesini, $\text{Var}(\cdot)$ ise değışinti işlevini göstermektedir. Burada,

$$\Delta t = |t_k - t_{k-n}| \quad (5)$$

$$\Delta r_{\Delta t} = r_k - r_{k-n} \quad (6)$$

olarak tanımlanmıştır. Farklı n uzunluğundaki zaman sıçramaları ve bu sıçramalara karşılık gelen değışinti değerlerini gösteren $\log[\text{Var}(\Delta r_{\Delta t})] - \log(\Delta t)$ grafiğı, kırılca bir eleman için doğrusal bir karakteristik gösterir. H değeri ise bu doğrunun eğimi hesaplanarak bulunur. Bir başka deyişle,

$$H = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{2} \frac{\log[\text{Var}(\Delta r_{\Delta t})]}{\log(\Delta t)} \quad (7)$$

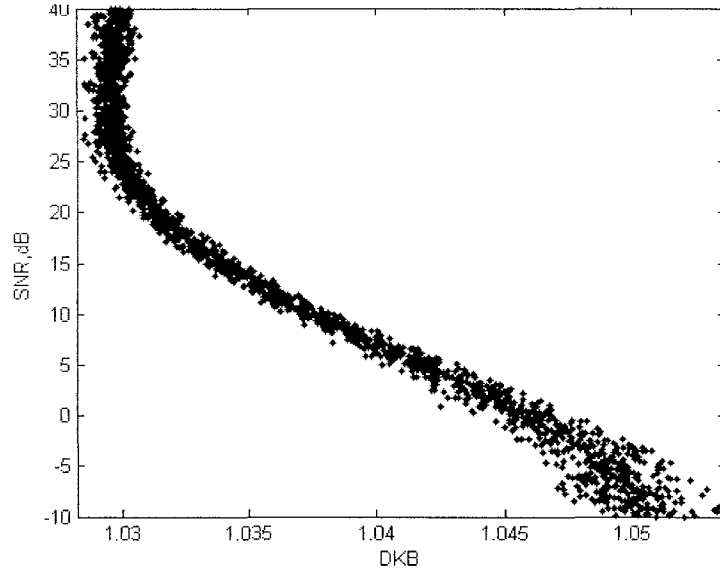
olarak verilir ve H değerin kestirimi bir doğrusal regresyon algoritması kullanılarak yapılır [5]. K uzunluğundaki zaman serisine ait değışinti kırılca boyutu D_σ ’ın hesaplanması ise [6]’da belirtildiğı gibi;

$$D_\sigma = E + 1 - H \quad (8)$$

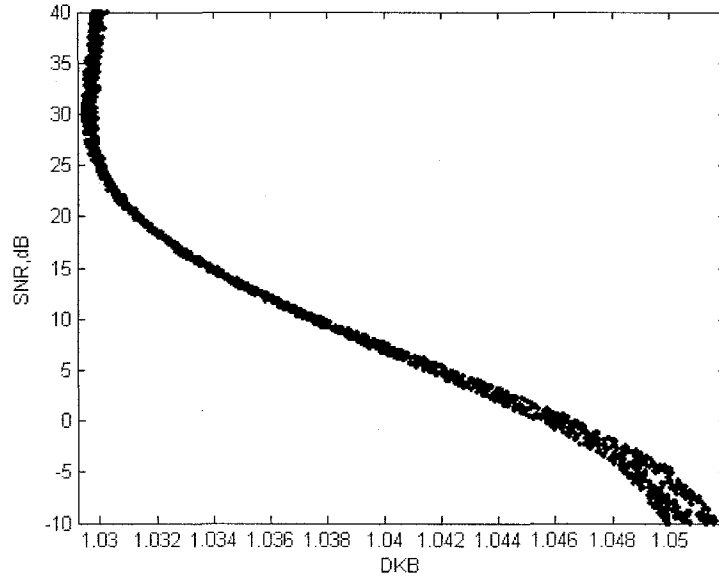
ifadesinden elde edilebilir. Burada, E “euclid boyutu” olup bu uygulamada 1’e eşit alınmaktadır. H değerin 0 ile 1 arasında olması, D_σ değerin ise 1 ile 2 arasında çıkması beklenir.

4. BPSK İşaretler İçin SNR-Kırılca Boyut İlişkisi

Bölüm 3.3’de açıklanan yöntem kullanılmak suretiyle, öğrenim kümesindeki her işareten bir öznitelik değeri (DKB) çıkarılmıştır. Her işaret için elde edilen DKB, işaretin SNR değerine karşılık gelecek şekilde bir SNR-DKB grafiğine aktarılmış ve böylece öğrenim kümesindeki tüm işaretlere ait (DKB, SNR) noktalarından oluşan bir dağılım elde edilmiştir. $K=512$ ve $K=4096$ değerleri için elde edilen SNR-DKB dağılımları sırasıyla Şekil 5 ve 6’da sunulmuştur.



Şekil 5. Gürültülü BPSK işaretler için SNR-DKB dağılımı (K=512)



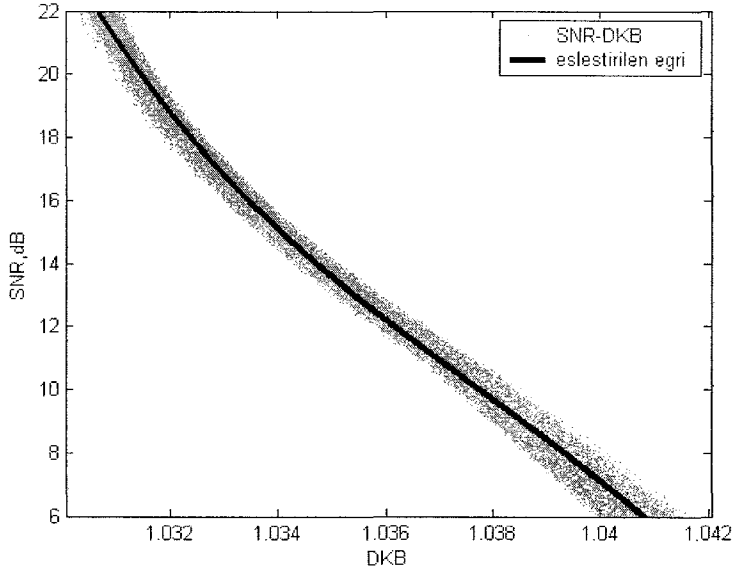
Şekil 6. Gürültülü BPSK işaretler için SNR-DKB dağılımı (K=4096)

5. DKB-Destekli Gözü Kapalı Kaotik SNR Kestirici

Şekil 5 ve 6'dan SNR-DKB dağılımlarının işaret çerçeve uzunluğuna (K) göre farklılaşmalar gösterdiği; ancak, her durum için de ilintili karakteristik özelliklere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu ilintiyi işlevsel olarak ifade edebilmek amacıyla, farklı her çerçeve uzunluğu (K) için, SNR-DKB karakteristiklerinin 6-22 dB aralığındaki özel bir parçası ile bir $f(\text{DKB})$ polinomu eşleştirilmiştir. Her eşleştirme için %95 güven aralığı esas alınarak %10'dan daha düşük bir ortalama hata değeri elde edilmiştir. K=2048 için bulunan

SNR-DKB dağılımı ile eşleştirilen polinom Şekil 7'de gösterilmiştir. Bir SNR-DKB dağılımı ile eşleştirilen polinoma ait denklem, $f(DKB)$, belirlendikten sonra test kümesindeki m 'nci işaretin ($r_{m,k}$) gerçek SNR değeri (SNR_m) bilinmiyor farzedilmiş; bu işaretin DKB_m ile gösterilen öznelik değeri hesaplanmış ve SNR kestirim değeri şu şekilde bulunmuştur:

$$\hat{SNR}_m = f(DKB_m) \quad (9)$$



Şekil 7. SNR-DKB dağılımı ile eşleştirilen polinom eğrisi (K=2048)

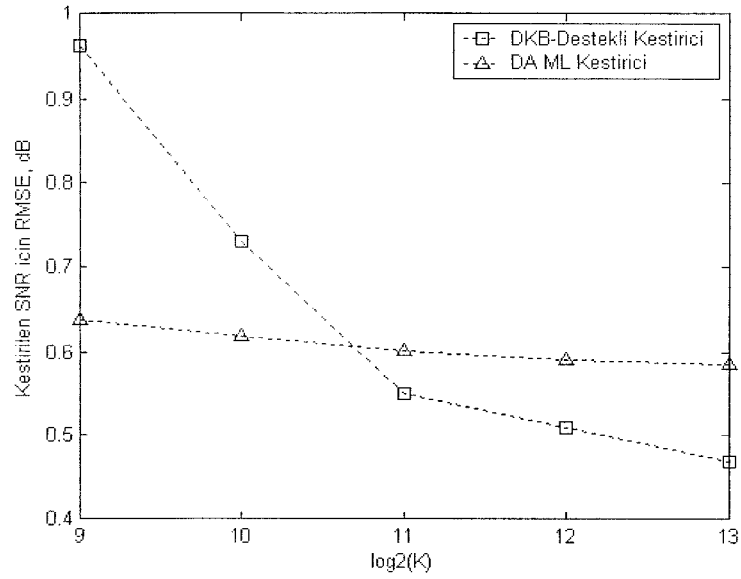
6. Başarım Karşılaştırması

“İyi” bir SNR kestiricinin yanlı olmaması (unbiased) ve olabildiğince küçük ortalama karesel hataya (MSE veya RMSE) sahip olması gerekir. Bu çalışmada başarımlı ölçümü amacıyla, öncelikle, test kümesindeki tüm işaretlerin kestirilen SNR değerleri ile gerçek SNR değerleri dikkate alınarak ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve yanlılık (bias) hesaplanmıştır. Bu maksatla,

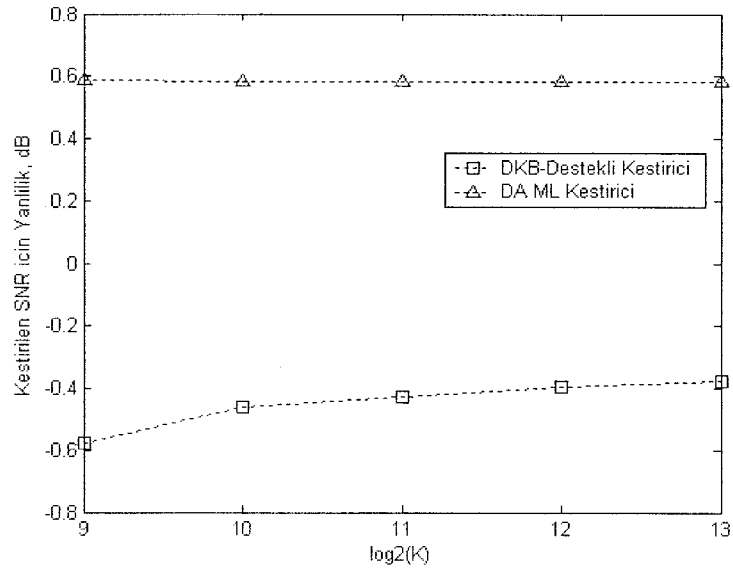
$$RMSE\left\{\hat{SNR}\right\} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left(\hat{SNR}_m - SNR_m\right)^2} \quad (10)$$

$$Bias\left\{\hat{SNR}\right\} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left(\hat{SNR}_m - SNR_m\right) \quad (11)$$

bağıntıları kullanılmıştır. Eş. 10 ve 11 kullanıldığında RMSE ve yanlılık ile işaret uzunluğu K arasındaki ilişkiler sırasıyla Şekil 8 ve 9'da gösterildiği gibi oluşmaktadır.



Şekil 8. SNR kestiriminde RMSE-işaret uzunluğu ilişkisi



Şekil 9. SNR kestiriminde yanlışlık-işaret uzunluğu ilişkisi

Bu çalışmada başarımlı karşılaştırması amacıyla, [2]'de rapor edilen bir veri-destekli en büyük olasılıklı (DA ML) SNR kestirici, üzerinde çalışılan sistem modeline (Şekil 1) uyarlanmış ve test kümesindeki m'nci işaret ($r_{m,k}$) için DA ML SNR kestirimi şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\hat{SNR}_{m,ML} = \frac{\hat{S}_{m,ML}}{\hat{N}_{m,ML}} \quad (12)$$

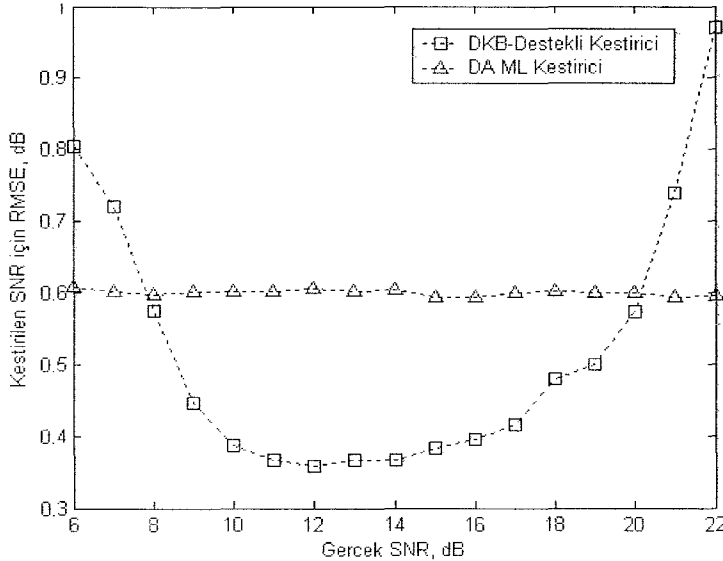
burada

$$\hat{S}_{m,ML} = \left[\frac{\sum_{k=0}^{K-1} r_{m,k} c_{m,k}}{\sum_{k=0}^{K-1} (c_{m,k})^2} \right]^2 \quad (13)$$

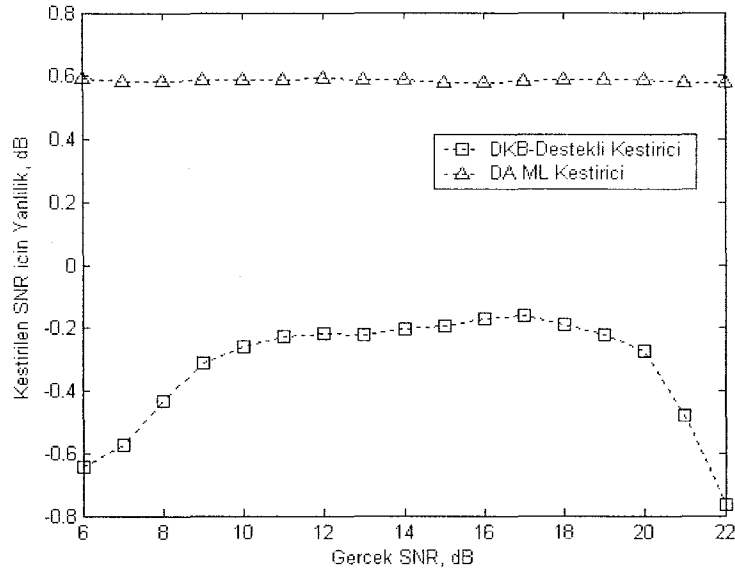
$$\hat{N}_{m,ML} = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} (r_{m,k})^2 - \hat{S}_{m,ML} \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} (c_{m,k})^2 \quad (14)$$

DA ML SNR kestirici ile elde edilen RMSE ve yanlılık değerleri de Şekil 8 ve 9'da, kaotik SNR kestirici kullanılarak elde edilen sonuçlarla birlikte sunulmuştur. Dikkatle incelendiğinde Eş. (9) ile özetlenen DKB-Destekli kaotik SNR kestiricinin kullanılabilmesi için sadece alıcıda kaydedilen gürültülü BPSK işaretin (r_k) bilinmesine; Eş. 12, 13 ve 14 ile özetlenen DA ML SNR kestiricinin kullanılabilmesi için ise vericiden yollanan orijinal veri bilgisinin bilinmesine veya kestirilmesine ihtiyaç duyulduğu gözükmemektedir. Bu husus, yöntemlerden ilkinin gözü kapalı, diğerinin veri destekli olarak isimlendirilmesinin temel gerekçesidir.

Şekil 8 ve 9 aracılığıyla sunulan başarımlarında geniş bir SNR aralığındaki tüm işaretler için hesaplanan RMSE ve yanlılık değerleri gösterilmekte ve özellikle 2048 ve yukarıdaki çerçeve uzunlukları dikkate alındığında DKB-Destekli SNR kestiricinin başarımının DA ML SNR kestiriciye göre daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Ancak kestirim başarımı hakkında daha sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek için, RMSE ve yanlılık değerlerinin işaretlerdeki gerçek SNR değerlerine göre nasıl değişiklik gösterdiği hususunun da incelenmesinin yerinde olacağı değerlendirilmiş ve bu maksatla, çerçeve uzunluğu sabit tutularak ($K=2048$) RMSE-SNR ve yanlılık-SNR grafikleri hazırlanmıştır. Sonuçlar Şekil 10 ve 11'de gösterilmiştir.



Şekil 10. RMSE ile gerçek SNR arasındaki ilişki ($K=2048$)



Şekil 11. Yanlılık ile gerçek SNR arasındaki ilişki (K=2048)

7. Sonuç ve Değerlendirme

Bu bildiriye, gözetlenebilir bir öğrenme tekniği kullanarak BPSK işaretlerdeki SNR değerinin kestirimi için gözü kapalı bir kaotik kestirici önerilmiştir. Yöntemin özellikle belirli bir SNR aralığı (8-18 dB) için etkin bir şekilde kullanılabileceği değerlendirilmekte birlikte bu aralığın dışında da tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 10 ve 11). 18 dB'nin üzerinde ve 8 dB'nin altında göreceli olarak daha düşük başarımlar elde edilmesinin temel nedenleri SNR-DKB dağılımlarının bu bölgelerde daha fazla saçılmış görünümlü olması ve eşleştirilen polinom eğrilerinin bu bölgelerdeki mutlak eğim değerlerinin büyük olmasıdır (Bkz. Şekil 5, 6 ve 7).

Yöntemin BPSK işaretleri dışında, özellikle M-PSK veya QAM işaretlerin kullanıldığı diğer sayısal modülasyon tekniklerine de uyarlanabilirliğini ortaya koymak maksadıyla, bu çalışmada esas alınan gerçek değerli sistem modeli yerine karmaşık değerli bir eşdeğer temel bant sistem modelinden yararlanılabileceği ve kırılca boyut hesaplama tekniğinde karmaşık işaretlerin modellenmesine de imkan tanıyacak bazı düzenlemelere ihtiyaç olacağı öngörülmektedir. Bu konudaki araştırmalar devam etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Tekbaş, Ö.H., Üreten, O. and Serinken, N. (2004), "Improvement of transmitter identification system for low SNR transients", *Electronics Letters*, 40, (3), 182-183.
- [2] Pauluzzi, D.R., Beaulieu, N.C. (2000), "A comparison of SNR estimation techniques for the AWGN channel", *IEEE Transactions on Communications*, 48, (10), 1681-1691.
- [3] Shaw, D., Kisner, W. (1997), "Multifractal modelling of radio transmitter transients for classification", *Proc. of the IEEE Conference on Communications Power and Computing*, Winnipeg, Manitoba, Canada, 306-312.
- [4] Kraft, R. (1995), "*Fractals and Dimensions*". Technical Report. Munich University of Technology, Germany.
- [5] Grieder, W., Kinsner, W. (1994), "Speech segmentation by variance fractal dimension", *Proc. of IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering*, 2;481-485.
- [6] Peitgen, H. O., Jurgens, H. and Saupe, D. (1992), "*Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*", New York. Springer-Verlag