

Hücresel Sinir Ağı Tabanlı DCSK ve COOK Haberleşme Sistemlerinin Performans Analizi

Performance Analysis of Cellular Neural Network Based Communication Systems DCSK and COOK

Enis GÜNAY

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Erciyes Üniversitesi
Kayseri, Türkiye
egunay@erciyes.edu.tr

Kenan ALTUN

Elektronik ve Otomasyon Bölümü
Cumhuriyet Üniversitesi
Sivas, Türkiye
kaltun@cumhuriyet.edu.tr

Özetçe - Bu çalışma, HSA(Hücresel Sinir Ağı) (Cellular Neural Network – CNN) tabanlı bir kaos üretici ile yayılı spektrum haberleşme örneği olan *Diferansiyel Kaos Kaydırmalı Anahtarlama (DKKA) (Differential Chaos Shift Keying-DCSK)* ve *Açık Kapalı Kaotik Anahtarlama (AKKA) (Chaotic On Off Keying-COOK)* haberleşme sisteminin bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, her iki haberleşme sisteminin bit-hata oranı (*bit error rate - BER*) ve gürültü sinyal oranı (*signal to noise ratio - SNR*) performansları HSA tabanlı kaotik üreteç ve diğer kaotik üreteçler kullanılarak gösterilmektedir.

Anahtar Kelimeler — Hücresel Sinir Ağları, Yayılı Spektrum Haberleşme, DKKA, AKKA.

Abstract - This study, a sample of a *Differential Chaos Shift Keying – DCSK* and *Chaotic on-Off Keying – COOK* spread spectrum communication system using a *Cellular Neural Network – CNN* based chaos generator was carried out computer simulations of communication system. As a result, the bit-error rate of each communication system (*bit error rate - BER*) and signal to noise ratio (*signal to noise ratio - SNR*) performance of CNN based are shown using chaotic generators and other chaotic generators.

Index Terms — Cellular Neural Network, Spread Spectrum Communication, DCSK, COOK.

I. GİRİŞ

Hücresel Sinir Ağları (HSA), modellenen sistemde hücre adı verilen ve nöron yapılarının oluşturduğu uzayda düzgün olarak dağılmış, karakteristik yapısı düzensiz olan dinamik yapı olarak ifade edilir [1]. HSA bu yapısal karakteristikleri ile bir çok kullanım alanı sunmaktadır. Başlıca kullanım alanları içerisinde kaotik sinyal üreteçleri ve görüntü analizi gibi çalışma alanı bulunmaktadır [2-4]. HSA yapıları ile modellenen kaotik sinyal üreteçlerini yeniden modellemek ve tümleşik yapılara uygun hale getirmek için *Durum Kontrollü HSA (DK-*

HSA) olarak bilinen model kullanılmıştır [5]. Bu yapıya ait bölgesel olarak tanımlanmış ağ yapısının geliştirilmiş ifadesi denklem(1) ile verilmektedir.

$$\dot{x}_j = -x_j + a_j y_j + i_j + G_c + G_o \quad (1)$$

Denklem(1) ile ifade edilen geliştirilmiş yapıda x_j durum değişkenini, a_j sabit katsayısı, i_j eşik değeri, j birim indeksini tanımlamaktadır. G_c ve G_s diğer yapıların çıkış ve durum değişkeni parametrelerini ifade etmektedir. HSA yapısının çıkış fonksiyonu olan y_j denklem (2) ile tanımlanmaktadır.

$$\dot{y}_j = \frac{1}{2} (|x_j + 1| - |x_j - 1|) \quad (2)$$

Bilinen birçok kaotik üreteç olmak üzere kaotik yapılar *DK-HSA* yapıları ile yeniden tasarlamak mümkündür [6-8]. *DK-HSA* devre yapıları ile gerçekleştirilen kaotik sinyal üreteçleri *RC* devre tabanlı olduklarından diğer kaotik sinyal üreteçlere göre tümleşik entegre yapılarına dönüştürülebilir [5-8]. Kaotik sinyal üreteçlerinin taşıyıcı işaret olarak kullanıldığı dar bantlı haberleşme sistemlerinin kullanım alanlarının genişlemesiyle, *Pecora-Carroll*'un 1990'da ortaya koydukları kaotik sistemlerin senkronize olarak güvenli haberleşmenin sağlanabileceğini ortaya koymuştur [9]. Haberleşme sistemlerinde bilgi sinyalinin alıcı devrelerde elde edilebilmesi için devamlı senkronize olması gereken analog devre tabanlı kaotik maskeleyme ve modülasyon yapılarına ek olarak, sürekli senkronizasyona ihtiyaç duymayan anlık kaotik senkronizasyon kullanan haberleşme sistemlerinin de kullanıldığı bilinmektedir. Sayısal devre tabanlı bu kaotik haberleşme yapıları kaotik kaymalı anahtarlama (*chaos shift keying - CSK*) [10], açık kapalı kaotik anahtarlama (*chaos on off keying - COOK*) [11], diferansiyel kaotik kaymalı anahtarlama - *DKKA (Differential Chaos Shift Keying – DCSK)* [12,13], kaudratür kaotik kaymalı anahtarlama (*quadrature*

chaos shift keying - *QCSK*) [14] kaotik haberleşme sistemlerinden bazılarıdır. Kaos osilatör yapılarının ana karakteristiği olan, devre parametrelerine ve ilk değerlerine karşı yüksek hassasiyeti belirgin olarak öne çıkmaktadır. Diğer taraftan bu yapıların çalışma karakteristiklerinin düzensiz olması, sürekli senkronize ihtiyacı olmayan sayısal kaotik haberleşme yapılarını popüler kılmıştır. Sayısal devre tabanlı haberleşmelerde görülen gürültü peobleminin kaotik yapılarda daha iyi performans sağlaması bu haberleşme türünün önemini artırmaktadır [12].

Çalışma neticesinde *HSA* devre yapılarını kullanarak elde edilen kaos işaret üreteçlerinin yer aldığı *DCSK* ve *COOK* haberleşme sistemlerinin bir örneği sunulmaktadır. Nitekim elde edilen sonuçlar ile kaotik haberleşme sistemlerinin gürültü performanslarının analizi ortaya konmuştur.

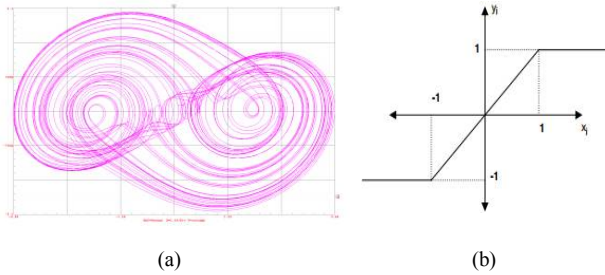
II. HSA TABANLI KAOS ÜRETECİ

DK-HSA'nın genelleştirilmiş denklemleri denklem (1) ve (2)'de verilmişti, buradan yola çıkarak elde edilen kaotik sinyal üretecine ait dinamik sistemlerdenklem (3)'de verilmektedir.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_1 + c_{11}x_1 + c_{12}x_2 \\ \dot{x}_2 &= -x_2 + c_{22}x_2 + c_{23}x_3 \\ \dot{x}_3 &= -x_3 + c_{31}x_1 + c_{32}x_2 + c_{33}x_3 + c_{31}y_1 \\ \dot{y}_1 &= \frac{1}{2}(|x_1 + 1| - |x_1 - 1|) \end{aligned} \quad (3)$$

$$c_{11}=c_{12}=c_{22}=c_{23}=1, c_{31}=-0.5, c_{32}=-0.4, c_{33}=0.5, c_{31}=1$$

DK-HSA yapı kullanılarak elde edilen yeni kaotik yapıya ait kaotik işaretin x_1 - x_2 dinamikleri Şekil 1(a)'da verilirken, kaos sinyal üretecine ait çıkış karakteristiği Şekil 1(b)'de verilmektedir.



Şekil 1. *HSA* yapı kaos osilatörün: (a) x_1 - x_2 kaos işareti, (b) $x(t)$ - $y(t)$ çıkış fonksiyonu.

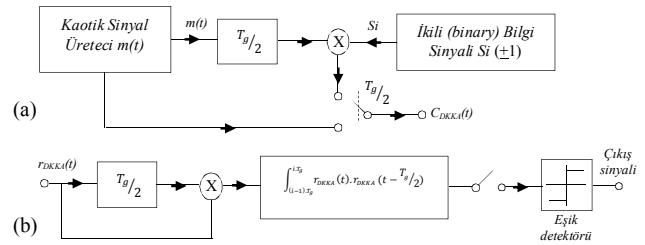
Yapılan çalışma sürekli kaotik senkronizasyon yerine anlık senkronize olan sayısal devre tabanlı haberleşme sistemlerinden *DCSK* ve *COOK* haberleşme yöntemlerinin *BER/SNR* performansının analizi yapılacaktır. Üçüncü bölümde bu sistemler ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

III. YAYILI SPEKTRUM HABERLEŞME YÖNTEMLERİ

Düşük frekanslı bir bilgi sinyalinin yüksek frekanslı taşıyıcı ile yayınımlı, bilgi sinyalinin band genişliğini artırmaz. Diğer taraftan ise işaretin güç spektral yoğunluğunun azalmasına neden olur. Güç spektral yoğunluğundaki azalma, bit hata oranını değiştirmemesine rağmen sinyali arkaplan gürültüsü içerisinde gizlenmesini ve diğer kaynaklar tarafından erişilmesini zorlaştırmaktadır [15].

Kaos tabanlı taşıyıcı üreteç kullanılan geniş band haberleşme geleneksel geniş band haberleşme sistemlerine göre daha avantajlıdır. Bu yapıların kaotik osilatörler kullanılarak elde edilmesi kaotik osilatörlerin karakteristik avantajlarını da bu sisteme adapte eder. Kaotik sistemlerin ilk değer hassasiyeti, parametre çeşitliliği ve tahmin edilemeyen yapısı haberleşme sistemlerindeki güvenlik beklentileri gibi önemli özellikleri ön plana çıkarmaktadır [16].

Sayısal devre tabanlı kaos sinyal üreteci kullanılarak gerçekleştirilen haberleşme sistemleri gürültü bağımsızlığı açısından karşılaştırıldığında *DCSK* en iyi performansı göstermektedir. Ayrıca sistem performansı gerek analog gerekse de sayısal bilgi transferlerinde aynı performansı göstererek kaotik sürekli senkronize yapılar arasında dikkat çekmektedir. *DCSK* haberleşme sistemine ait alıcı ve verici blok şemaları Şekil 2'de gösterilmektedir. Sistem analiz edildiğinde verici kısmında gösterilen bilgi sinyali S_i , kaos işaret üretecinin ürettiği işaret ile iletilmektedir. İletilen işarete her bit ($S_i = -1, +1$) farklı kaotik işaret kısımları ile iletilmektedir. İlk kısım referans işareti taşıırken ikinci kısım bilgi sinyalini taşımaktadır. Verici çıkışına ait sistemin eşitliği $c_{DKKA}(t)$ denklem (4) ile gösterilmektedir.



Şekil 2. a) *DCSK* verici blok şema, b) *DCSK* alıcı blok şema [12].

$$c_{DKKA}(t) = \begin{cases} m(t); & 0 \leq t < T_g/2 \\ \pm m(t - T_g/2); & T_g/2 \leq t < T_g \end{cases} \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemde T_g ile verilen gecikme zamanını göstermektedir. *DCSK* yöntemi verici kısmında üretilen kaos işareti, gecikme zamanının yarısı kadar ($T_g/2$) geciktirilerek iletimden önce bilgi işareti ile korele edilmektedir. Şekil 2'de verici blok şema gösterilen $c_{DKKA}(t)$ sinyaline gürültü eklenerek iletim hattına yayınımlı yapılır.

$$r_{DKKA}(t) = c_{DKKA}(t) + g(t) \quad (5)$$

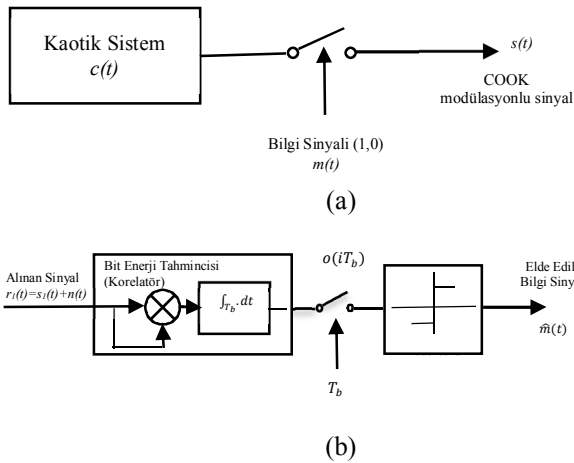
Verici devrenin çıkışında elde edilen gürültü eklenmiş yapı denklem (5) ile ifade edilmektedir. Verici çıkışında ki sinyal alıcı devrede tekrar gecikme zamanının yarısı kadar kaydırılıp kendisi ile korelasyona tabi tutularak bir integratöre tabi tutulmaktadır.

$$\int_{(i-1)T_g}^{iT_g} r_{DKKA}(t) \cdot r_{DKKA}(t - T_g/2) \quad (6)$$

İntegratör çıkışındaki sinyal gecikme zamanı periyodunda eşik dedektörüne tabi tutularak elde edilen sinyal sıfırdan büyükse +1 olmakta değilse sıfır olmaktadır.

Diğer bir yayılı spektrum haberleşme örneği olan, *Açık kapalı kaotik anahtarlama (AKKA)* sistemi diferansiyel kaotik kaymalı anahtarlama (DKKA) sisteminin sadece bir kaotik işaretini kullanan kaos tabanlı sayısal modülasyon tekniğidir. Şekil 3’de bir AKKA haberleşme sistemine ait verici ve alıcı kısımları blok şemalar ile gösterilmektedir. Aynı şekilde AKKA haberleşme yönteminde de bilgi sinyali S_i kaos işaret üretici tarafından iletilmektedir. Bilgi sinyali anahtarlama anında “1” bilgisini içeriyorsa kaotik üreticinin alıcıya aktarılmasını, “0” bilgisini içeriyorsa alıcıya sıfır bilgisini gönderir.

AKKA sayısal modülatör devresinden gelen sinyal $s(t)$ haberleşme iletim hattı boyunca gürültü sinyali eklenerek alıcı devredeki demodülatör devresine gönderilir. Alıcı devreye gelen gürültü eklenmiş işaret $r(t)$ kendisi ile korelasyona tabi tutulup, integratöre aktarılır ve eşik dedektörüne gönderilir. Gürültü eklenmemiş modüleli sinyale ait “1” ve “0” bilgisine göre korelasyon sonucu denklem 7’deki gibi olur. Korelasyon çıkışında elde edilen sinyal eşik dedektörüne tabi tutularak bilgi sinyali elde edilir [17, 18].



Şekil 3. a) COOK yapısı verici blok şeması, b) COOK yapısı alıcı blok şeması.[17,18]

$$s(t) = \begin{cases} c(t), & 1 \text{ bilgisi için} \\ 0, & 0 \text{ bilgisi için} \end{cases} \quad (7)$$

AKKA haberleşme yönteminin verici devresinde elde edilen kaos işareti, anahtarlama zamanı boyunca (T_b) bilgi sinyali ile korelasyona tabi tutulmakta ve verici çıkışından iletim hattına aktarılarak, iletim hattı boyunca modüleli işaret gürültü eklenerek alıcı devreye gönderilmektedir.

$$\begin{aligned} o(iT_b) &= \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} r^2(t) dt = \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} [s(t) + n(t)]^2 dt \\ &= \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} s^2(t) dt + 2 \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} s(t) \cdot n(t) dt + \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} n^2(t) dt \end{aligned} \quad (8)$$

Denklem (8) ile gösterilen gürültü eklenmiş AKKA haberleşme sistemine ait verici devresindeki çıkış görülmektedir. Alıcı devrede bu işaret kendisi ile çarpılmakta ve denklem (9)’da da ifade edildiği gibi eşik dedektöründen geçirilmektedir.

$$o(iT_b) = \begin{cases} \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} c^2(t) dt, & 1 \text{ bilgisi} \\ 0, & 0 \text{ bilgisi} \end{cases} \quad (9)$$

Eşik dedektörü devresinde integrasyon işlemine tabi tutulan sinyal içerisindeki her bir sembol, anahtarlama T_b süresince eşik seviyesi sıfır olan bir detektöre örneklenmekte ve örneklenen işaret sıfırdan büyükse çıkış +1, değilse sıfır olmaktadır.

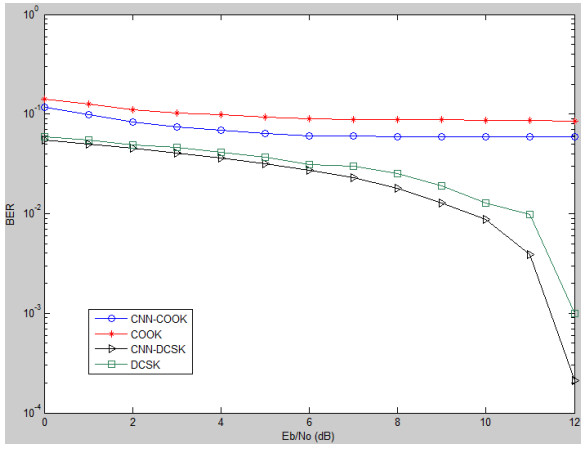
IV. UYGULAMA SONUÇLARI

AKKA haberleşme sistemi ve DKKA haberleşme sistemlerinin HSA tabanlı ve diğer kaotik üreticiler kullanılarak bilgisayar benzetimi gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar benzetimi esnasında farklı gürültü oranlarıyla elde edilen BER-SNR grafiği Şekil 4’te verilmektedir.

Buradan da görüldüğü üzere hem AKKA haberleşme sisteminde hem de DKKA haberleşme sisteminde kullanılan HSA tabanlı kaotik üreticilerin gürültü performanlar daha başarılı gözükmemektedir. Burada her iki haberleşme yöntemi için denklem(10) ile hesaplanan bit hata oranları Şekil 4’de *Gaussian* bir dağılım ile gösterilmektedir [19].

$$BER = 1/2 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{4N_o} \left(1 + \frac{\beta N_o}{2E_b} \right)^{-1}} \right) \quad (10)$$

Denklem (10) ile verilen ifadede tümleşik hata erfc ile, gürültü dağılımı $N_o/2$, modülatör çıkışı bit enerjisi ise E_b ile ifade edilmektedir [19].



Şekil 4. AKKA-DKKA sistemlerinin DK-HSA devre yapıları katık üretici ve diğer kaos üreticiler için BER-SNR performansı.

V. SONUÇ

Bu çalışma DK-HSA ile modellenen kaotik üreticilerin sayısal tabanlı haberleşme sistemleri olan AKKA ve DKKA haberleşme sistemlerine ait gürültü performansının etkisi araştırılmıştır. Nitekim ki araştırma neticesinde elde edilen sonuçlar DK-HSA tabanlı kaotik üreticilerin BER-SNR performansının daha başarılı olduğu yapılan uygulama ile ortaya konmuştur.

KAYNAKÇA

- [1] Chua, L. & Yang, L., "Cellular neural networks: Theory", *IEEE Trans. Circuits Syst.*, 35, 732–745, 1988.
- [2] Chua, L.O ve Yang, L., "Cellular Neural Networks: Applications", *IEEE Transaction on Circuits and Systems*, Vol 35, No.10 ; s.1273-1290. 1988.
- [3] Chua, L.O., and Roska, T., "The CNN paradigm", *IEEE Transactions on Circuits and Systems -I.*, 40, pp.147-156,1993.
- [4] L.O. Chua., *CNN: A Paradigm for complexity*, World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A- Vol. 31, World Scientific Publishing, 1998.

- [5] Arena, P., Baglio, S., Fortuna, L. & Manganaro, G., "Chua's circuit can be generated by CNN cells," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, 142, 123–125, 1995.
- [6] Kılıç, R., Alçı, M. & Günay, E., "A SC-CNNbased chaotic masking system with feedback", *Int. J. Bifurcation and Chaos*, 14, 245–256, 2004.
- [7] Günay, E. , "MLC circuit in the frame of CNN", *Int. J. Bifurcation and Chaos*, 20, 3267–3274, 2010.
- [8] Günay E. "A New Autonomous Chaos Generator from State Controlled Cellular Neural Networks", *Int. J. Bifurcation & Chaos*, Vol.22, No.3, 2012.
- [9] Pecora, L. M., Carroll, T. L., "Synchronization in Chaotic Systems", *Physical Review Letters*, Vol. 64, pp. 821-824, Feb., 1990.
- [10] Dedieu H, Kennedy M, and Hasler M., "Chaos shift keying: modulation and demodulation of a chaotic carrier using self-synchronizing Chua's circuits", *IEEE Transactions on circuits and systems II*, 40(10), 634-643, 1993.
- [11] Abdullah H, Valenzuela A., "Performance Evaluation of FM-COOK Chaotic Communication system", *Journal of Signal and Information Processing (JSIP)*, 2(3):175-177, 2011.
- [12] Kolumbàn G, Vizvari G and Schwarz W., "Differential chaos shift keying: a robust coding for chaos communication", *Proceedings of International Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems*, 1(1):92-97, 1996.
- [13] Majeed M. "Implementation of Differential Chaos Shift Keying Communication System Using Matlab-Simulink". *Journal of American Science*, 10(10):240-244, 2014.
- [14] Galias Z, and Maggio M. "Quadrature chaos-shift keying: theory and performance analysis", *IEEE Transactions on Circuit and Systems I*, 48(12):1510-1518, 2001.
- [15] Tam W., Lau F., Tse, C., "Digital Communications with Chaos", Elsevier, 2006.
- [16] Lau F. C. M., Tse C. K., "Chaos-Based Digital Communication Systems", Springer, 2003.
- [17] Stavroulakis, P., *Chaos applications in telecommunications*, CRC Press, pp.125-169, USA, 2006.
- [18] Tam, W.M., Lau, F.C.M. and Tse C.K., *Digital communications with chaos: multiple access techniques and performance*, Elsevier Ltd., pp.11-31, 2007.
- [19] M. Sushchik, L. S. Tsimring, and A. R. Volkovskii, "Performance analysis of correlation-based communication schemes utilizing chaos", *IEEE Trans. Circuits and Systems*, vol. 47, pp. 1684–1691, 2000.