

Açık Kapalı Kaotik Anahtarlama Haberleşme Sisteminin HSA Tabanlı Kaos Üreteci Gerçekleştirilmesi ve Performans Analizi

Kenan ALTUN¹ Enis GÜNAY²

¹Elektronik ve Otomasyon Bölümü
Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas

²Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Erciyes Üniversitesi, Kayseri

Email: ¹kaltun@cumhuriyet.edu.tr ²egunay@erciyes.edu.tr

Özet

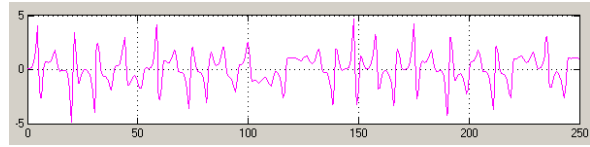
Bu çalışmada, Hücresel Sinir Ağı (HSA) (Cellular Neural Network –CNN) tabanlı bir kaos üreteci ile Sprotta kaos üreteci kullanılarak, Açık Kapalı Kaotik Anahtarlama (AKKA) (Chaotic On Off Keying-COOK) haberleşme sisteminin bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, her iki kaotik üretece dayalı haberleşme sisteminin, bit-hata oranı (bit error rate - BER) ve gürültü sinyal oranı (signal to noise ratio - SNR) performansları karşılaştırılmaktadır.

1. Giriş

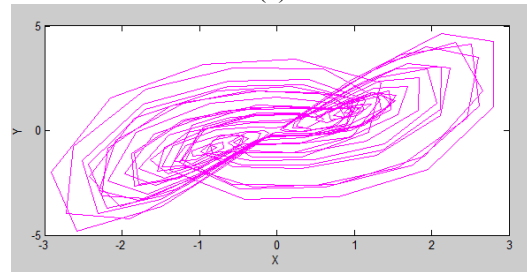
Kaotik sistemlerin senkronize olabileceklerini gösteren Pecora-Carroll'un 1990'da yaptıkları çalışma, kaotik işaretlerin yayılı spektrum (spread spectrum) haberleşme sistemlerinde kullanılmasına öncülük etmiştir [1]. Bu çalışmayı takiben, sürekli kaotik senkronizasyona gerek duyulan analog tabanlı kaotik maskeleyme ve kaotik modülasyon sistemleri ile anlık kaotik senkronizasyon kullanan sayısal modülasyon tabanlı kaos anahtarlama haberleşme teknikleri geliştirilmiş ve böylece kaos tabanlı yayılı spektrum haberleşme sistemleri literatürde yer almıştır. Kaos kaymalı anahtarlama (chaos shift keying - CSK) [2], açık kapalı kaotik anahtarlama (chaotic on off keying - COOK) [3], diferansiyel kaos kaydırmalı anahtarlama - DKKA (Differential Chaos Shift Keying - DCSK) [4,5], kaudratür kaos kaydırmalı anahtarlama (quadrature chaos shift keying - QCSK) [6] bu tekniklerden bazılarını göstermektedir. İlk olarak Kolumban tarafından önerilen AKKA yöntemi, yukarıda bahsi geçen sayısal işaret işlemeye yönelik kaotik haberleşme yöntemleri içerisinde, karmaşıklığı daha az ve gürültü bağımsızlığı iyi olan bir haberleşme metodu olarak ortaya çıkmıştır [4]. Diğer taraftan Sprotta_94_B kaos üreteci, kaotik işaret üretimine yönelik çalışmalar içerisinde basit yapısı ve zengin kaotik davranışları nedeniyle dikkat çekmektedir.

Denklem (1)'de Sprotta_94_B sistemine ait boyutsuz durum denklemleri görülmektedir.

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= y \cdot z \\ \frac{dy}{dt} &= x - y \\ \frac{dz}{dt} &= 1 - x \cdot y\end{aligned}\quad (1)$$



(a)



(b)

Şekil 1. (a) Sprotta_94_B kaotik üreticinin x dinamiği.
(b) x-y düzleminde gözlenen kaotik çeker.

Denklem (1)'de verilen Sprotta_94_B sisteminin, yz ve xy doğrusal olmayan karakteristiklerini kullanarak meydana getirdiği kaotik x dinamiğinin zamana göre davranışı ve sistemin x-y faz uzayında görülen kaotik çeker yapısı Şekil 1(a) ve (b) sırasıyla gösterilmektedir.

AKKA haberleşme sisteminde kullanılacak olan diğer kaos üreteci ise bölgesel yapıdaki hücre (cell) adı verilen nöronların oluşturduğu karmaşık davranışlara sahip dinamik bir sistem olarak tanımlanan Hücresel Sinir Ağları (HSA)'dır [7]. HSA'nın kullanım alanları içerisinde kaotik işaret işleme ve görüntü işleme konuları yer almaktadır [8-10]. HSA kullanılarak kaotik işaretlerin yeniden modellenmesi amacıyla

literatürde *Durum Kontrollü HSA (DK-HSA)* yapıları önerilmiştir [11]. Genelleştirilmiş hücre modelinin boyutsuz doğrusal olmayan durum denklemleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\dot{x}_j = -x_j + a_j y_j + G_0 + G_s + i_j \quad (2)$$

Yukarıdaki denklemde x_j durum değişkenini (*state control*), a_j sabit parametreyi, i_j eşik değerini (*threshold*) gösterirken, j ise hücre indeksini göstermektedir. G_0 ve G_s sırasıyla komşu hücrelerin çıkışlarından ve durum değişkenlerinden yapılan bağlantıları göstermektedir. Önerilen *DK-HSA* modeli orijinal *Chua* ve *Yang* tanımlamasından G_s terimi ile farklılık göstermektedir [11]. Bir *HSA* hücrenin çıkış fonksiyonunu temsil eden y_j ise aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$y_j = 1/2 (|x_j + 1| - |x_j - 1|) \quad (3)$$

Chua devresinin boyutsuz durum denklemleri ilk olarak *Arena* tarafından çalışılmış ve Denklem (2)'de verilen *DK-HSA* durum denklemleri arasında yapısal benzerlik kurulabileceği gösterilmiştir [11]. Böylelikle birçok kaotik işaret üreticini *DK-HSA* kullanarak modellemek mümkün olmaktadır [12-14]. *RC*-tabanlı olmaları bakımından *DK-HSA* tabanlı kaotik üreticiler diğer kaotik üreticilere nazaran tümleştirmeye daha uygun yapıdadırlar [11-14].

Bütün bunlara karşın literatürde *DK-HSA* kaotik üreticilerinin kullanıldığı sürekli senkronizasyon örnekleri yer alırken [11-14], sayısal bilgi iletimi konusunda bir uygulama örneğine rastlanılmamıştır. Bu çalışmayla, *AKKA* haberleşme sisteminin *BER-SNR* performans analizi, *DK-HSA* tabanlı kaos üretici ve *Sprott_94_B* kaos üretici açısından karşılaştırmalı olarak yapılmaktadır.

2. HSA-Tabanlı Kaos Üretici

Denklem (2) ve (3)'de verilen genelleştirilmiş *DK-HSA* denklemleri, üç hücreli bir ağ yapısı için kaotik çift-çeker (*chaotic double scroll-attractor*) üretici olarak düzenlenebilir. Buna göre elde edilen ağ yapısının denklemleri ve parametre değeri aşağıdaki gibidir [14].

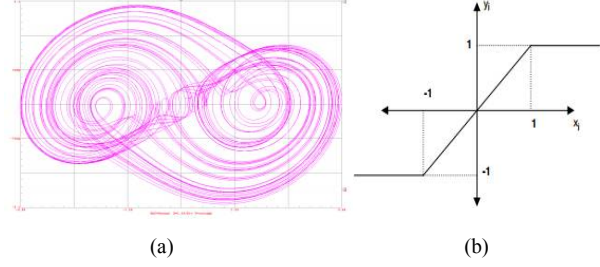
$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_1 + s_{11}x_1 + s_{12}x_2 \\ \dot{x}_2 &= -x_2 + s_{22}x_2 + s_{23}x_3 \\ \dot{x}_3 &= -x_3 + s_{31}x_1 + s_{32}x_2 + s_{33}x_3 + a_{31}y_1 \\ y_1 &= 1/2 (|x_1 + 1| - |x_1 - 1|) \end{aligned} \quad (4)$$

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

Denklem (4)'te verilen *DK-HSA* tabanlı kaos üretici, çoklu kaotik çeker üretimi (*multi-scroll chaotic attractor*) ve sürekli kaotik senkronizasyona ihtiyaç duyulan analog tabanlı kaotik maskelemede kullanılmıştır [14].

Denklem (4)'te verilen sistemin oluşturduğu kaotik çeker Şekil 2(a)'da verilirken, kaotik üreticinin çıkış fonksiyon grafiği Şekil 2(b)'de görülmektedir.

Bir sonraki bölümde yayılı spektrum haberleşme ve *AKKA* haberleşme yöntemi anlatılacaktır.



Şekil 2. *DK-HSA* tabanlı kaotik üreticinin: (a) x_1 - x_2 düzleminde gözlemlenen kaotik çekeri, (b) $x(t)$ - $y(t)$ çıkış fonksiyon grafiği.

3. Yayılı Spektrum Haberleşme ve Açık Kapalı Kaotik Anahtarlama-AKKA Haberleşme Sistemi

Dar bantlı haberleşme sistemlerinde bilgi sinyalinin geniş bantlı bir taşıyıcı işaret tarafından modüle edilmesi, bilgi sinyalinin bant genişliğinde bir artışa neden olmakla birlikte, güç spektral yoğunluğunda ise azalmaya neden olmaktadır. *BER* performansı etkilenmeden yaşanan bu güç spektral yoğunluğundaki azalma, bilgi sinyalinin iletim hattı gürültüsü içerisinde saklanılabilir hale getirir ve istenmeyen kullanıcılar tarafından bilgi sinyalinin fark edilmesinin zorlaştırılmaktadır [15].

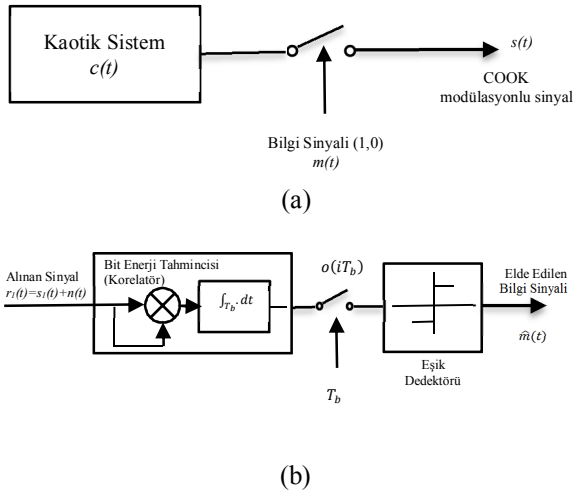
Kaos tabanlı yayılı spektrum haberleşmesi düşük kesişim (*interception*) oranı, sinyal bozucu (*jamming*) uygulamalara karşı düşük bağımlılığı, çoklu-erişim kapasitesi ve yine çoklu yön koruma gibi özellikleriyle yayılı spektrum haberleşme yöntemleri son yıllarda artan bir ilgiye sahip olmaktadır [15].

Diğer taraftan kaos tabanlı yayılı spektrum haberleşmesi konvansiyonel yayılı spektrum haberleşmeciliğine göre birçok avantaj sunmaktadır. Sonuç olarak geniş bantlı kaotik sinyal üreten devrelerin basitliği ve ucuzluğu, kaotik sinyalin başlangıç şartlarına bağlı olarak çeşitliliği ve periyodik olmayan doğal yapısı, bilgi sinyalinin daha kolay gizlenebilmesine imkan sağlamaktadır. Bunun yanında kaotik sinyallerin kullanıldığı haberleşme sistemlerinde görülen daha az alt-kanal girişim etkileri

(*co-channel interference*) ve böylece daha yüksek performans gibi özellikler bu avantajlar arasında sayılabilir [16].

Açık kapalı kaotik anahtarlama (AKKA) sistemi kaotik kaymalı anahtarlama (*DKKA*) sisteminin sadece bir kaotik işaretini kullanan kaos tabanlı sayısal modülasyon tekniğidir. Sayısal kaotik haberleşme yöntemleri içerisinde *AKKA* yöntemi gürültü bağışıklığı açısından dikkat çekmektedir. Şekil 3’de bir *AKKA* haberleşme sistemi hem verici hemde alıcı kısımlarıyla bloklar halinde gösterilmektedir. Bu haberleşme sisteminde sayısal bir bilgi sinyali S_i geniş bir frekans bandına, kaotik bir taşıyıcı sinyal tarafından yayılmaktadır. *AKKA* sayısal modülasyon tekniği ile iletim kanalında iletilecek sinyal bilgi sinyalinin bit değerine göre belirlenir. Bilgi sinyali anahtarlama anında “1” bilgisini içeriyorsa kaotik üreticinin alıcıya aktarılmasını, “0” bilgisini içeriyorsa alıcıya sıfır bilgisini gönderir.

AKKA modülatör devresinden gelen modülasyonlu sinyal $s(t)$ haberleşme kanalı üzerinden alıcı taraftaki demodülatör devresine gönderilir. Demodülatör devresine gelen gürültülü sinyal $r(t)$ kendisi ile çarpılarak integrali alınır yani bit enerjisi hesaplanır (*korelatör birimi*) ve eşik dedektörüne iletilir. Denklem 6’da korelatör biriminde hesaplanan enerji değerinin matematiksel ifadesi verilmiştir. Gürültüsüz ortamda 1 ve 0 bilgisi için korelatör çıkışı Denklem 7’de verildiği gibi olur. Korelatör çıkışındaki sinyal eşik dedektörü birimine gelir ve bu birimde belirlenen eşik seviyeye göre bilgi sinyali elde edilir [17, 18].



Şekil 3. a) *AKKA* haberleşme sisteminin verici blok şeması, b) *AKKA* haberleşme sisteminin alıcı blok şeması. [17,18]

$$s(t) = \begin{cases} c(t), & 1 \text{ bilgisi için} \\ 0, & 0 \text{ bilgisi için} \end{cases} \quad (5)$$

AKKA haberleşme sisteminin verici kısmında üretilen kaotik sinyal, anahtarlama süresince (T_b) bilgi sinyali ile korelasyona tabi tutulmaktadır. Yine Şekil 3’den de görülebileceğine göre haberleşme sisteminin verici çıkışında elde edilen sinyale beyaz gürültü (*additive white Gaussian noise-AWGN*) eklenerek alıcı kısma uygulanmaktadır.

$$o(iT_b) = \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} r^2(t) dt = \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} [s(t) + n(t)]^2 dt \quad (6)$$

$$= \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} s^2(t) dt + 2 \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} s(t) \cdot n(t) dt + \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} n^2(t) dt$$

Denklem (6)’te gürültü eklenmiş, *AKKA* haberleşme sistemi verici çıkış ifadesi görülmektedir. Daha sonra bu sinyal alıcı girişinde kendisi ile korelasyona tabi tutulmakta ve son olarak da elde edilen sinyal denklem (7)’de de görüldüğü üzere bir eşik dedektöründen geçirilmektedir.

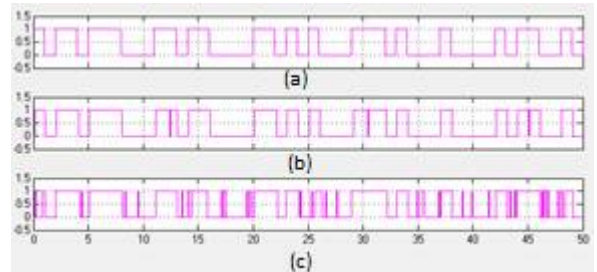
$$o(iT_b) = \begin{cases} \int_{(i-1)T_b}^{iT_b} c^2(t) dt, & 1 \text{ bilgisi} \\ 0, & 0 \text{ bilgisi} \end{cases} \quad (7)$$

Bu sayısal bilgiden hareketle, integrasyon sonucu elde edilen sinyal içerisindeki her bir sembol, anahtarlama T_b süresince eşik seviyesi sıfır olan bir detektöre örneklenmektedir. Örneklenen işaret pozitif ise çıkış $+1$ olmakta, değilse sıfır olmaktadır.

AKKA modülasyon yönteminin başarısı karar devresinde belirlenen eşik değere bağlıdır. Bu değer gürültüye bağlı olarak değişmektedir. Bu durum *AKKA* yönteminin bir dezavantajıdır [19,20,21].

4. Benzetim Sonuçları

AKKA haberleşme sisteminin verici kısmının bilgisayar benzetim sonuçları Şekil 4’te verilmektedir. Şekil 4(a) iletilen bilgi sinyalini, Şekil 4(b) *DK-HSA* tabanlı sistemin ürettiği kaotik işareti ile iletilen bilgi sinyalini ve Şekil 4(c)’de *Sprott_94_B* kaotik işareti ile iletilen bilgi sinyalini göstermektedir.

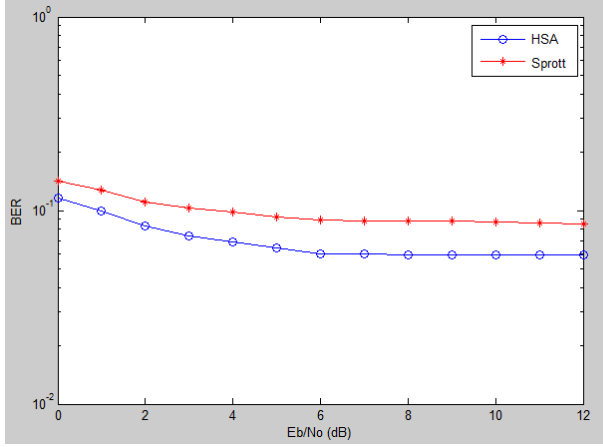


Şekil 4. a) İletilen bilgi sinyali b) *HSA* generator ile alıcıda elde edilen bilgi sinyali, c) *Sprott_94_B* generator ile alıcıda elde edilen bilgi sinyali.

Şekil 5’de ise farklı kaotik üreteçlerinin kullanıldığı AKKA haberleşme sisteminin BER-SNR grafiğindeki değişimler görülmektedir. Burada AKKA haberleşme sistemi için hesaplanmış analitik BER performansı Gaussian bir dağılım ile Denklem 8’deki gibi verilmektedir [22].

$$BER = 1/2 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{4N_0} \left(1 + \frac{\beta N_0}{2E_b} \right)^{-1}} \right) \quad (8)$$

Denklem (8)’de *erfc* tümlleşik hata fonksiyonunu gösterirken, $N_0/2$ gürültü dağılımını, E_b kaotik modülâtörün çıkışında görülen bit enerjisini göstermektedir [22].



Şekil 5. AKKA haberleşme sisteminin DK-HSA kaotik üreteci ile Sprott kaotik üretecinin BER-SNR performansı.

5. Sonuç

Bu çalışma neticesinde DK-HSA tabanlı kaotik üreteçlerinin sadece sürekli senkronizasyona ihtiyaç duyan kaotik haberleşme sistemlerinde değil, aynı zamanda sayısal bilgi iletiminde kullanılan anlık senkronize kaotik haberleşme sistemlerinde de kullanılabilirliği görülmektedir. Ayrıca DK-HSA tabanlı üreteçler RC-tabanlı olmaları ve tümlleştirilmeye uygun yapıları sayesinde kaotik haberleşme uygulamalarında tercih edilen yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 5’den önerilen DK-HSA ile modellenen sistemin, Sprott_94_B kaotik sistemine göre daha başarılı bir BER-SNR performansı ortaya koyduğu görülmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Pecora, L. M., Carroll, T. L., “Synchronization in Chaotic Systems”, *Physical Review Letters*, Vol. 64, pp. 821-824, Feb., 1990.
- [2] 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.

- [3] Abdullah H, Valenzuela A., “Performance Evaluation of FM-COOK Chaotic Communication system”, *Journal of Signal and Information Processing (JSIP)*, 2(3):175-177, 2011.
- [4] G Kolumbán, MP Kennedy, G Kis “Performance improvement of chaotic communications systems” - Proc. ECCTD’97, 1997
- [5] Majeed M. “Implementation of Differential Chaos Shift Keying Communication System Using Matlab-Simulink”. *Journal of American Science*, 10(10):240-244, 2014.
- [6] 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.
- [7] Chua, L. & Yang, L., “Cellular neural networks: Theory”, *IEEE Trans. Circuits Syst.*, 35, 732–745, 1988.
- [8] Chua, L.O ve Yang, L., “Cellular Neural Networks: Applications”, *IEEE Transaction on Circuits and Systems*, Vol 35, No.10 ; s.1273-1290. 1988.
- [9] Chua, L.O., and Roska, T., “The CNN paradigm”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems -I.*, 40, pp.147-156, 1993.
- [10] L.O. Chua., *CNN: A Paradigm for complexity*, World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A- Vol. 31, World Scientific Publishing, 1998.
- [11] 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.
- [12] Kılıç, R., Alçı, M. & Günay, E., “A SC-CNN based chaotic masking system with feedback”, *Int. J. Bifurcation and Chaos*, 14, 245–256, 2004.
- [13] Günay, E. , “MLC circuit in the frame of CNN”, *Int. J. Bifurcation and Chaos*, 20, 3267–3274, 2010.
- [14] Günay E. "A New Autonomous Chaos Generator from State Controlled Cellular Neural Networks", *Int. J. Bifurcation & Chaos*, Vol.22, No.3, 2012.
- [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] Abdullah, H.N. and Valenzuela A.A., “Efficient chaotic communications system for wireless sensing applications”, *9th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices (SSD)*, Chemnitz, pp.1-5, 2012.
- [20] Albassam, N.N. and Sumesh E.P., “Enhancing of chaotic on-off keying scheme”, *Proceedings of the 8th IEEE GCC Conference and Exhibition*, Muscat, Oman, pp.1-6, 2015.
- [21] Çiçek S, Ferikoğlu A, Pehlivan İ, “A Chaotic communication system design with chaotic on-off keying(COOK) modulation method”, *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, pp.431-434, 2015.
- [22] 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.