

Kaos Tabanlı Sayısal Modülasyon Tekniklerinin Simulink Ortamında Modellenmesi ve Benzetimi

Mustafa Türk¹, Hidayet Oğraş²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

²Elektrik Eğitimi Bölümü, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye
mturk@firat.edu.tr

(Geliş/Received: **.**.200*; Kabul/Accepted: **.**.200*)

Özet

Bu çalışma, kaos kavramının haberleşme sistemleri içerisindeki uygulama alanını ve bu alanda sıkça kullanılan kaotik modülasyon ve demodülasyon tekniklerini içermektedir. Ayrıca bu çalışmada, kaos karmaşıklığının sayısal modülasyon teknikleri içerisinde kullanılmasına yönelik genel bir bakış özetlenmekle beraber bu alanda özellikle üzerinde çalışılan modülasyon tekniklerinden: Korelasyon gecikmeli kaydırmalı anahtarlama (KGKA), frekans modülasyonlu farksal kaos kaydırmalı anahtarlama (FM-FKKA) ve kaotik açma-kapama anahtarlama (KAKA) yapıları Simulink ortamında modellenmiş ve benzetilmiştir. Modellere ait benzetim sonunda elde edilen teorik ve deneysel sonuçlar tatmin edici seviyede olup bu sonuçlar ayrıca kaos tabanlı modülasyon tekniklerinin sayısal haberleşme sistemlerinde pratik uygulamalarda kullanılabilirliğini destekler niteliktedir. Kaos dinamiğinin sergilediği gürültü benzeri davranış ve mevcut karmaşıklık düşünüldüğünde bu kavramın güvenli veri iletişimine alternatif bir yaklaşım getirdiği, Simulink ortamında gerçekleştirilen benzetim sonuçlarıyla da değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Kaos, Haberleşme, Sayısal modülasyon, Simulink

Modelling and Simulation of Chaos-Based Digital Modulation Techniques on Simulink Environment

Abstract

This study covers the field of application of chaos concept in communication systems and chaotic modulation and demodulation techniques frequently used in this area. In addition, this study summarizes a general overview of the use of chaos complexity in digital modulation techniques, in particular the modulation techniques studied above: Correlation Delayed Shift Keying (CDSK), Frequency-Modulated Differential Chaos Shift Keying (FM-DCSK) and Chaotic On-Off Keying (COOK) structures are modeled and simulated in the Simulink environment. The theoretical and experimental results obtained at the end of the model simulation are at a satisfactory level and these results also support the usability of chaotic modulation techniques in practical applications in digital communication systems. Considering the noise-like behavior and existing complexity exhibited by the Chaos dynamics, this concept can also be evaluated with simulated results in Simulink environment, which brings an alternative approach to secure data communication.

Keywords: Chaos, Communication, Digital Modulation, Simulink

1. Giriş

Günümüz teknolojisinde haberleşme sistemlerine olan ihtiyaç ve bağımlılığın artması, bu alanda çok fazla sayıda kullanıcı oluşturmıştır. Ayrıca kullanılan darbant iletişim sinyalleri çok yollu yayılıma karşı duyarlı olmakla beraber yüksek oranda gönderilen güç spektrum yoğunluğu da diğer kullanıcılar için parazit oluşturmaktadır [1, 2]. Bazı uygulamalarda mevcut bant genişliğinin en verimli şekilde kullanılması önemliyken bazı

uygulamalarda ise bant genişliğinin sınırlı olduğu genişbant haberleşme tekniğinin kullanılması önemlidir. Her bir kullanıcının diğer kullanıcılar için parazit oluşturduğu böyle bir ortam için en uygun yöntem, kullanılan haberleşme sinyalinin mümkün olduğunca genişbantlı olması gerekir. Genişbantlı haberleşme sinyali iki yol ile oluşturulabilir: Yayılı Spektrum tekniği kullanılarak bilgi sinyalinin genişbant aralığı üzerinde yayılması ya da her bir sembolün gürültü benzeri dalga biçimi ile temsil edilmesi. Günümüzde bu probleme yönelik bilinen çözüm,

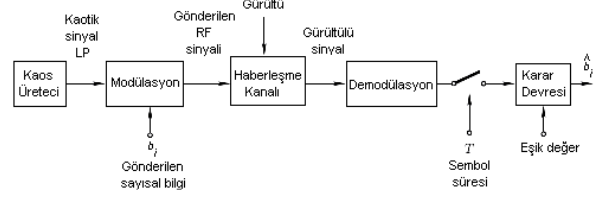
birinci yaklaşımı kullanmaktadır [1-3]. Ancak yayılı spektrum tekniğinin kullanılması karmaşık bir sistemi gerektirmekle beraber alıcı ve verici devrelerde mükemmel bir senkronizasyonun olması gerekir. Senkronizasyon hatası, performans kaybına yol açarken sistemin karmaşıklığı ise fazla güç tüketimine sebep olur. Kaos tabanlı haberleşme, bu gibi problemlere çözüm sunabilen yeni bir alternatif alandır [4-6].

Pratikte bilgi iletimi anlamında sadece analog haberleşme kanalları mevcuttur. İletilen bilgi sayısal olsa bile bu bilginin analog bir sinyal ile temsil edilip yollanması gerekir. Bilinen sayısal haberleşme sistemlerinde gönderilecek olan her bir işaret genellikle periyodik sinüs sinyali ile temsil edildiğinden gönderilecek olan bilgi darbant bir sinyal olur [2,3]. Sonuçta çok yollu yayılım, sinyalde büyük oranda zayıflamaya neden olur. Kaotik sistemlerden elde edilen kaotik sinyaller, büyük bant genişliğine ve düşük güç spektrum yoğunluğuna sahip olmalarının yanında ayrıca bu sinyallerin periyodik olmaması ve doğada bir nevi gürültü olarak görünmelerinden ötürü bu sistemlerin güvenli haberleşmede kullanılması düşünülebilir [7-10].

Bu çalışmada, kaos tabanlı bazı sayısal haberleşme uygulamalarının Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmesi amaçlanmış ve bu amaçla simulink modelleri gerçekleştirilip doğrulukları alıcı tarafta bilginin tekrar elde edilmesi ile sınanmıştır.

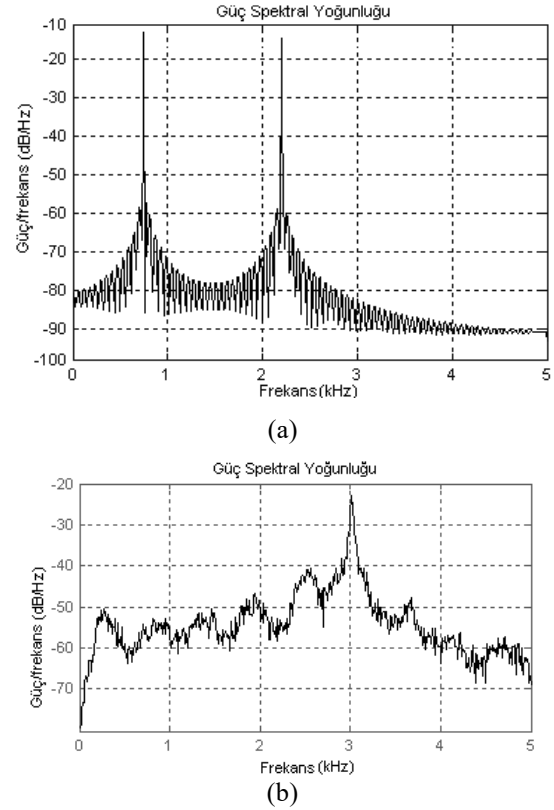
2. Kaos Tabanlı Sayısal Haberleşme

Kaos tabanlı haberleşme sistemlerinde ise gönderilecek olan sayısal bilgi, kaotik sinyal parçası ile temsil edilir. Kaotik sinyaller periyodik olmadığından dolayı bu haberleşme sistemlerinde aynı bilgi tekrar tekrar yollansa bile bu bilgiyi temsil eden kaotik sinyal hiçbir zaman aynı olmayacaktır. Alıcı tarafta hangi bilginin gönderildiği kaotik sinyalin bit enerjisine ya da gelen sinyalin farklı kısımları arasında ölçülmüş bağıntıya bakılarak hesaplanabilir [3]. Alıcı kısmındaki korelatör devresinde gelen kaotik dalganın bit enerji değeri hesaplanarak belli bir eşik seviyeye göre gönderilen sayısal bilgi tahmin edilebilir. Şekil 1’ de kaos tabanlı haberleşme sistemine ait genel bir şema gösterilmektedir.



Şekil 1. Kaotik haberleşme blok şeması

Kaos tabanlı haberleşme sistemlerinde taşıyıcı olarak kullanılan kaotik sinyaller büyük bant genişliğine sahip ve düşük güç spektrum yoğunluklu sinyaller olmalarının yanında çok basit devreler ile herhangi bir frekans bandında elde edilebilir. Buna karşın darbant iletişim sinyalleri ise belirli bir frekansta yüksek güç yoğunluğuna sahiptir [3]. Periyodik olan sinüsoidal sinyalin frekans spektrumu Şekil 2(a)’ da, Chua devresinden elde edilen kaotik sinyalin frekans spektrumu ise Şekil 2(b)’ de verilmiştir.



Şekil 2. Frekans spektrumu (a) Sinüs sinyali (b) Kaotik sinyal

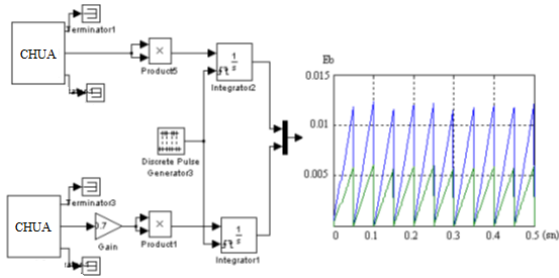
Şekil 2’den görüldüğü gibi deterministik kaotik sistemlerden elde edilen sinyaller yüksek seviyede öngörülemez ve rastgele görünümlü bir yapıya sahiptir [11-12]. Ayrıca kaotik

sistemler, başlangıç koşullarına ve kontrol parametrelerine karşı gösterdiği hassas duyarlılık ve farklı sistem parametreleriyle benzer davranış sergilemesi gibi çok önemli özelliklere sahiptirler ki bu karakteristik özellikler haberleşme ve kriptoloji alanlarında gerekli olan koşullardır [13-15].

3. Kaos-Tabanlı Sayısal Modülasyon Teknikleri

3.1. KGKA Modülasyon Tekniği

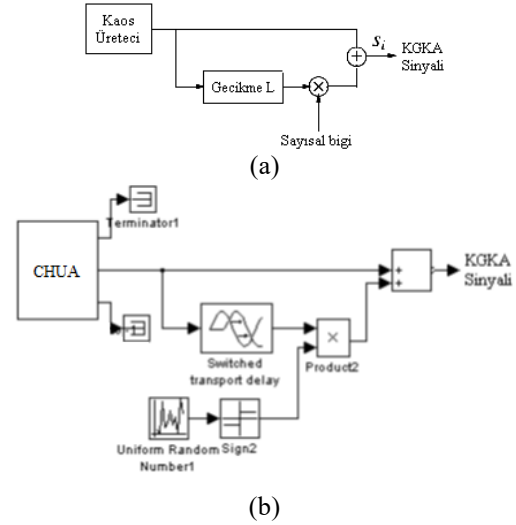
Kaos kaydırmalı anahtarlama tekniğinde sayısal bilgi göndermek için farklı birim enerjilere sahip iki kaotik taşıyıcı kullanılmaktadır. Bu iki kaotik taşıyıcı, aynı sistemin farklı parametre değerlerine sahip iki kaotik sistem tarafından elde edilmiş olup, sırasıyla bilgi sinyalinin sayısal “1” ve “-1” ile kodlanmış halidir. Kaotik sinyaller periyodik olmadıklarından dolayı bit başına düşen enerji sabit olmamakla beraber sadece alıcı tarafa korelatör devresinde tahmin edilebilir. Şekil 3’ de, Simulink ortamında modellenmiş farklı parametrelere sahip Chu devresinden elde edilen kaotik taşıyıcıların 20 örnek/sn durumundaki bit enerji değerlerine karşılık gelen korelatör çıkışı gösterilmiştir.



Şekil 3. Farklı bit enerji değerlerine sahip kaotik taşıyıcılar

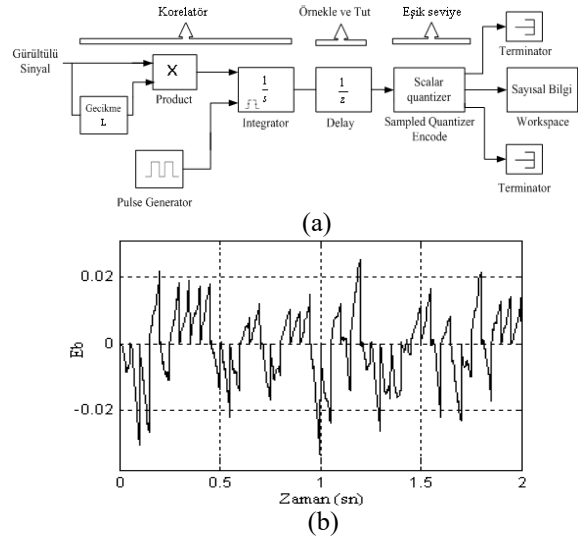
Grafik sonucundan görüldüğü gibi bit “1” ve “-1” karşılık gelen enerji değerleri farklıdır ve bu değerler belli bir eşik seviyeden geçirilerek gönderilen sayısal bilgi tekrar elde edilebilir. KGKA tekniğinde ise iletilen sinyal, kaotik serilerin ve geciktirilmiş aynı serinin bilgi sinyaliyle $b = \pm 1$ çarpılıp toplanmasına ilişkin bir yöntemdir. KGKA verici devresinde anahtar yerine bir toplayıcı kullanılmasından dolayı gönderilen sinyal hiçbir zaman tekrarlanmaz. KGKA verici devresinin blok şeması Şekil 4(a)’

da; Simulink modeli ise Şekil 4(b)’ de gösterilmiştir.



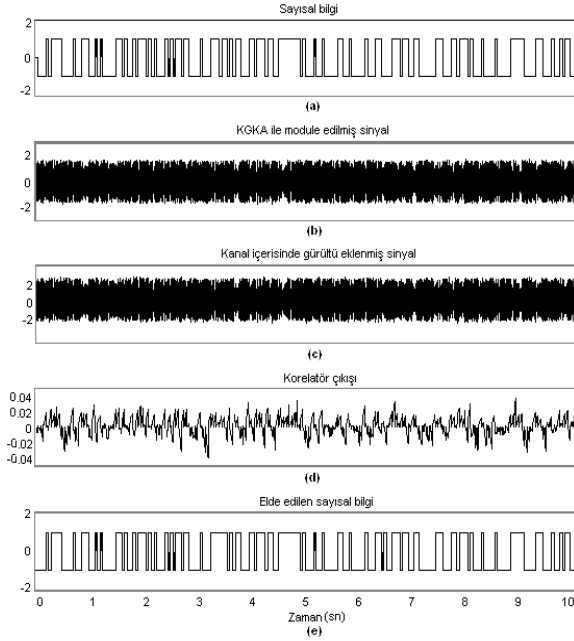
Şekil 4. KGKA modülasyon (a) Blok şema (b) Simulink modeli

Kaos tabanlı demodülasyon işlemi için kaotik taşıyıcının alıcı tarafta yeniden üretilmesinin gerektirmeyen evreyuysuz devre yapıları kullanılabilir. Burada dikkate alınan en önemli nokta her bir sayısal bilgiyi temsil eden kaotik sinyalin bit enerji değerinin hesaplanarak iletilen bilginin yorumlanmasıdır.



Şekil 5. KGKA demodülasyon (a) Simulink modeli (b) Korelatör çıkışı

Şekil 5(a)’ da, KGKA evreyuysuz demodülasyon yapısının Simulink modeli, Şekil 5(b)’ de ise bu tekniğin korelatör çıkışı ise gösterilmektedir.

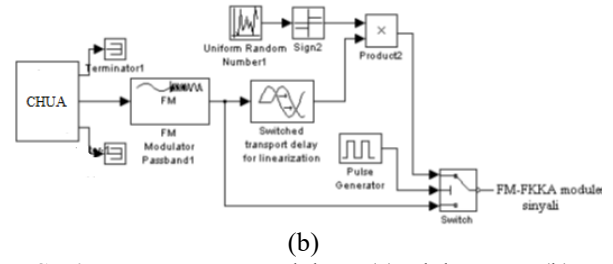
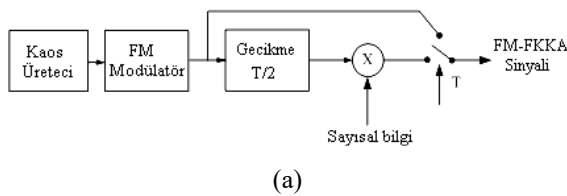


Şekil 6. (a) Gönderilen bilgi sinyali (b) KGKA ile module edilmiş sinyal (c) Kanal üzerinden iletilen gürültülü sinyal (d) Korelatör çıkışı (e) Elde edilen bilgi

Korelatör çıkışından da görülebildiği gibi alıcı tarafta bit enerji değerleri gönderilen sayısal bilgiler için farklı olup, eşik seviye 0 olduğunda iletilen bilginin ayırt edilmesi mümkün olmaktadır. KGKA tekniğinin Simulink modelinin benzetimi sonunda elde edilmiş sonuçlar Şekil 6’ da verilmiştir.

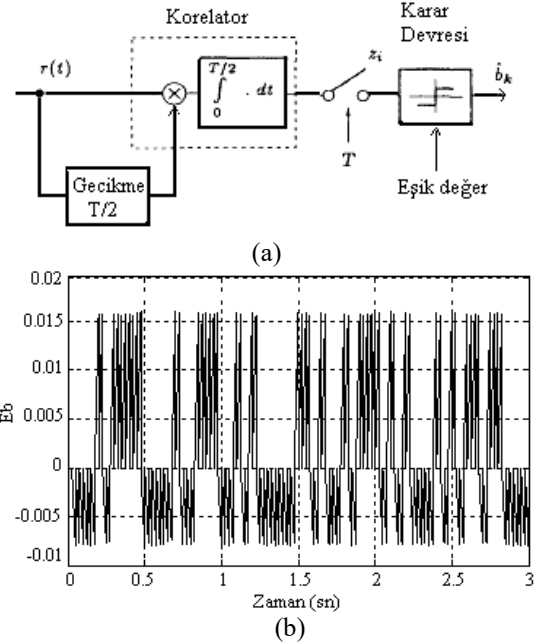
3.2. FM-FKKA Modülasyon Tekniği

FM-FKKA modülasyon tekniğinde, kaotik üreteç devresinden elde edilen kaotik sinyal ayrı bir FM modülatörün girdisi olur ve bilgi iletmeye taşıyıcı olarak module olan bu sinyal kullanılır. Sonuçta burada farklı iki modülasyon gerçekleştirilir. FM-FKKA modülatör devre yapısı ve Simulink modeli sırasıyla Şekil 7(a) ve Şekil 7(b)’ de verilmiştir.



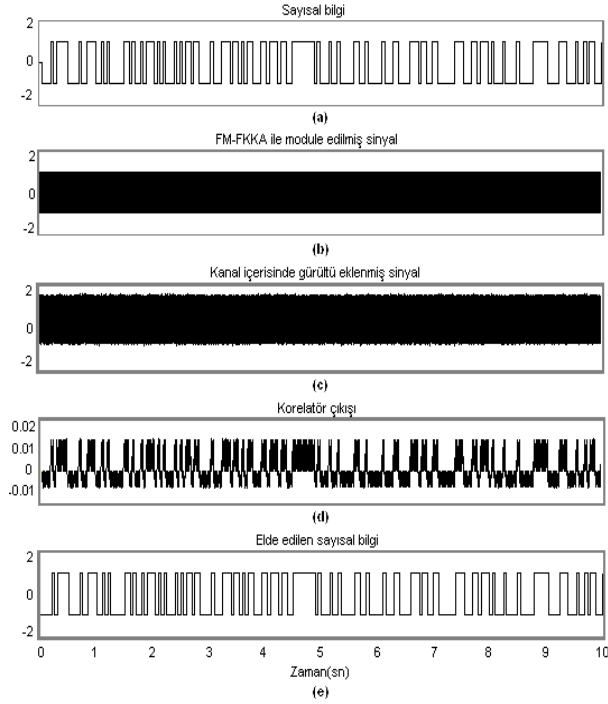
Şekil 7. FM-FKKA modülatör (a) Blok şeması (b) Simulink modeli

Farksal kaos kaydırmalı anahtarlama tekniğine bir FM modülatör ilave edilmesiyle geniş bantlı ve sabit bit enerjili kaotik bir sinyalin elde edilmesi mümkündür [16]. FM-FKKA modeli ile hem bit enerjisi sabit olarak korunur hem de FKKA ya göre daha üst seviyede gürültü performansı elde edilir. Yapı itibarıyla gönderilen sayısal bilgi “1” ise module olmuş art arda benzer iki kaotik dalga gönderilir; iletilen bilgi “-1” ise module olmuş kaotik dalganın ardından geciktirilmiş tersi gönderilir. Alıcı devresi Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. FM-FKKA demodülatör (a) Blok şeması (b) Korelatör çıkışı

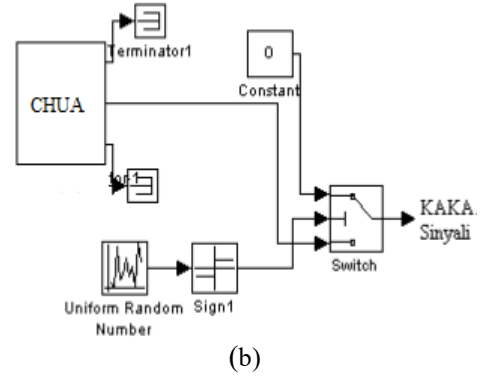
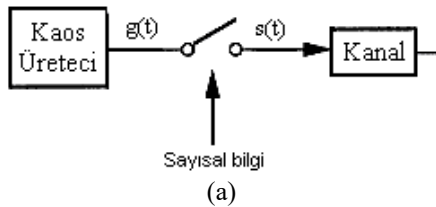
FM-FKKA tekniğindeki korelatör çıkışından görülebileceği gibi sayısal bilgiyi temsil eden kaotik taşıyıcıların bit enerji değerleri sabittir. FM-FKKA modelinin benzetimi sonunda elde edilmiş sonuçlar Şekil 9’ da verilmiştir.



Şekil 9. (a) Gönderilen bilgi sinyali (b) FM-FKKA ile module edilmiş sinyal (c) Kanal üzerinden gürültüyle iletilen sinyal (d) Korelatör çıkışı (e) Elde edilen bilgi

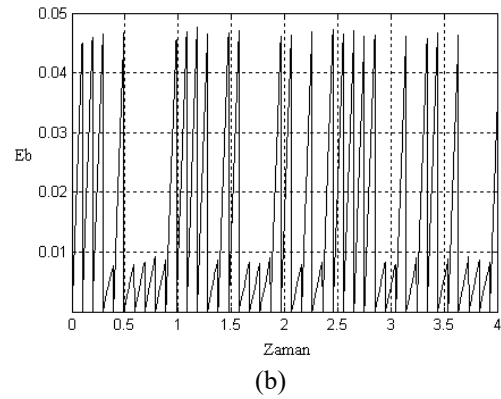
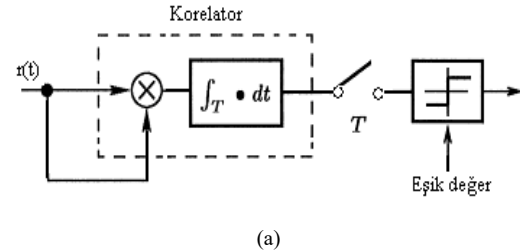
3.3. KAKA Modülasyon Tekniği

KAKA tekniğinde tek bir kaotik taşıyıcı, $g(t)$ üreten bir kaos üretici bulunur. Dolayısıyla, gönderilen “1” bilgisini belirli bir bit enerji değeri temsil ederken, “-1” bilgisi için bir şey gönderilmez. KAKA daha basit bir tanımla, kaotik sinyal üreticinin açık veya kapalı olmasıyla ilgili basit bir modülasyon tekniğidir. KAKA modülatör devre yapısı ve Simulink modeli sırasıyla Şekil 10(a) ve Şekil 10(b)’de verilmiştir.



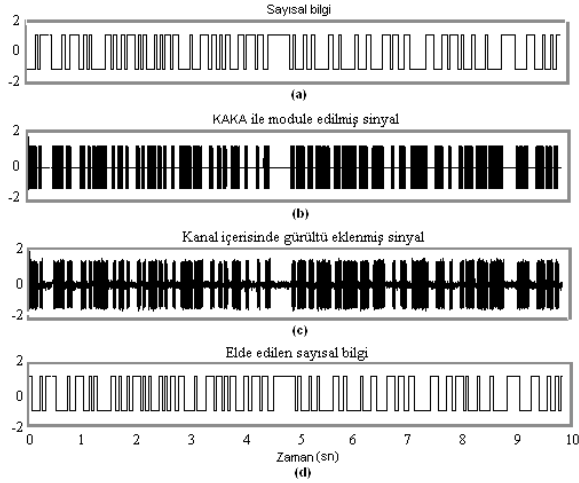
Şekil 10. KAKA modülatör (a) Blok şeması (b) Simulink modeli

KAKA tekniğine ait demodülasyon işlemi için evreyuysuz algılayıcı devresi kullanılabilir. Ayrıca burada senkronizasyona gerek yoktur ve bu durum vericinin daha düşük seviyede enerji harcamasını sağlar [17]. Ancak alıcı tarafta karar devresi için gerekli olan eşik değer seviyesinin kanal gürültüsüne bağlı olması, bu tekniğin olumsuz tarafı olarak kabul edilebilir. Şekil 11(a) ve Şekil 11(b) sırasıyla KAKA tekniğine ait alıcı devreyi ve korelatör çıkışını göstermektedir.



Şekil 11. KAKA demodülatörü (a) Blok şeması (b) Korelatör çıkışı

KAKA modelinin benzetimi sonunda, gönderilen bilgi sinyaliyle ilgili grafiksel sonuçlar Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. (a) Gönderilen bilgi sinyali (b) KAKA ile module edilmiş sinyal (c) Kanal üzerinden iletilen gürültülü sinyal (d) Elde edilen bilgi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, kaos tabanlı modülasyon tekniklerinden KGKA, FM-FKKA ve KAKA yapıları incelenmiş bu tekniklerin MATLAB/Simulink ortamında modellenmesi ele alınmıştır. Simulink ortamında gerçekleştirilen benzetim sonuçlarına göre bilgi iletiminde kullanılan sayısal modülasyon tekniklerinin yeterli performansı sağlayabildikleri görülmüş ve alıcı tarafta iletilen sayısal bilginin sağlıklı bir şekilde elde edilebildiği gözlemlenmiştir. Sistemlerin farklı kanal gürültüsü altındaki başarılı performansı için gerekli olan koşulun, kaotik örnekleme fonksiyonlarının sabit bit enerjisine sahip olması ve alıcıda uygun eşik seviyenin seçilmesi olduğu görülmektedir.

5. Kaynakça

1. Kis, G., Jako, Z., Kennedy, M., P., Kolumban, G., (1998). Chaotic communication without synchronization, 6th IEE Conference Telecommunications, 451,49-53.
2. Jako, Z., (2003), Performance Improvement of Differential Chaos Shift Keying Modulation Scheme, Phd Thesis, Department of Measurement and Information Systems Budapest University of Technology and Economics, Hungary.
3. Kennedy, M., P., & Kolumban, G., (1998). Digital communications using chaos, Signal Processing 80,1307-1320.
4. Riaz, A., and Ali, M., (2008). Chaotic Communications, their applications and advantages

over traditional methods of communication, IEEE 6th International Symposium Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, 21-24.

5. Farah, B., A., M., Kachouri, A., and Samet, M. (2006). Design of secure digital communication systems using DCSK chaotic modulation, IEEE International Conference on Design and Test of Integrated Systems in Nanoscale Technology, DTIS, 200-204.
6. Corron, N., J., & Hahs, D., W., (1997). A new approach to communications using chaotic signals, IEEE Transactions on Circuits and Systems-I, 44(5), 373-383.
7. Rodrigo T. F., and Marcio E., (2016). A digital bandlimited chaos-based communication system, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 37, 374-385.
8. Eisencraft, M., *et al.* (2012). Chaos-based communication systems in non-ideal channels, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 17, 4707-4718.
9. Ashraf A. Z., and A. Abu-Rezq, (2011). On the design of chaos-based secure communication systems, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 16, 3721-3737.
10. Wang, B., Zhong, S.M., and Dong, X.C., (2016). On the novel chaotic secure communication scheme design, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 39, 108-117.
11. Larson, L., E., Liu, J., Tsimring, L., S., (2006). Digital communication using chaos and nonlinear dynamics, Springer.
12. Carroll, L., (2017). Chaos for low probability of detection communications, Chaos Solitons and Fractals, 103, 238-245.
13. Oğraş, H., Türk M., (2016). A robust chaos-based image cryptosystem with an improved key generator and plain image sensitivity mechanism, Journal of Information Security, 8, 23-41.
14. Oğraş, H., Türk M., (2017). FPGA implementation of a chaotic quadratic map for cryptographic applications, 12(2), 113-119.
15. Oğraş, H., Türk M., (2011). Classification of chaos-based digital modulation techniques using wavelet neural networks and performance comparison of wavelet families, 38, 2557-2565.
16. Kolumban, G., Kennedy, M., P., Jako, Z., & Kis, G., (2002). Chaotic Communications with Correlator receivers: Theory and Performance limits, Proceedings of the IEEE, 90(5), 711-731
17. Lee, K., Kyeong, S., Kim, J., Kim, Y., and Park, H., (2006). The chaotic on-off keying with guard interval for ultra-wideband communication, IEEE Asia Pacific Wireless Communications Symposium.