

ECG Sinyallerinde Kaotik Gürültüyü Giderebilmek için Dalgacık Dönüşümünün Kullanılması

Mehmet ÜSTÜNDAĞ¹, Ahmet GÜNER¹

¹Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü, 12000, Bingöl, Türkiye
mustundag23@gmail.com aguner2003@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, biyomedikal sinyallerden biri olan ECG sinyallerinde kaotik gürültüyü gidermek için Dalgacık Dönüşümü (DD) yöntemi ve bu yöntemin etkinliği sunulmuştur. Bu yöntemde, kaotik gürültü ile bozulmuş ECG sinyali çeşitli seviyelere ayrıştırılarak gürültülü bileşenler tespit edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra kaotik gürültülü katsayılar eşikleme yöntemi kullanılarak sıfıra çekilmiştir. Başarım kriteri kullanılarak yöntemin etkinliği gösterilmiştir.

Abstract

In this work, wavelet transform and its efficiency is represented for denoising of ECG signal which is known as a biomedical signal that is corrupted by chaotic noise. The corrupted ECG signal with chaotic noise is firstly decomposed into various levels, in order to detect the noise components. Then, the chaotic noise coefficients set to zero by using thresholding method. Effectiveness of this method was approved with the help of criteria of performance.

1. Giriş

Kaos kavramı, matematikçiler, fizikçiler ve mühendisler için son yıllarda araştırma konusu olmuştur [1]. Kaotik sinyaller, gürültü benzeri geniş bantlı spektruma sahip olan ve başlangıç şartlarına aşırı duyarlı olan önceden tahmin edilmesi zor olan sinyallerdir [2]. Kaos alanında bilimsel anlamda ilk çalışma, 1963 yılında havanın basitleştirilmiş bir modeli ile ilgili Edward Lorenz tarafından yapılmıştır [3]. Lorenz yaptığı çalışmalarda hava tahmininde başlangıç koşullarında çok küçük değişiklikler olduğu zaman büyük farklılıklara neden olduğunu fark etmiştir [2]. Sonuç olarak kaotik sistemlerin başlangıç şartlarındaki çok küçük değişim büyük farklar oluşturmakta ve tahmin edilebilmesi imkânsız olmaktadır [4].

ECG (Electrocardiogram) sinyali, kalp rahatsızlıklarının belirlenmesinde kullanılan önemli biyomedikal sinyallerden biridir [5-6]. Hastalık teşhisinde bu sinyaller oldukça önemli olmaktadır. Bazı durumlarda, sinyaller bozucu giriş olarak adlandırdığımız gürültü nedeniyle bozulmaktadır. Bu gürültüler, kas gürültüsü, cihaz kaynaklı gürültüler ve çeşitli gürültüler olabilmektedir [7].

Son zamanlarda, bozucu giriş olan gürültüyü gidermek için birçok yöntem önerilmiştir. Wiener ve Kalman filtreleme yöntemleri bu alandaki ilk çalışmalardır [8]. ECG sinyali durağan olmayan bir sinyal türü olduğundan frekans alanında çalışan filtreler sinyalin geçici durumlarında bozulmalara sebep olabilir [9]. Bu durumlarda kaos tabanlı yaklaşımlar çok mükemmel gibi gözükse de, gürültünün çok güçlü olduğu durumlarda hesaplama karmaşıklığından dolayı etkin olmayabilir [10]. Bu nedenle Dalgacık Dönüşüm tabanlı yöntemler bu problemleri ortadan kaldırmak için oldukça fazla kullanılırlar [9, 12-16].

Bu çalışmada, kaotik gürültü ile bozulmuş ECG sinyalinden gürültüyü giderebilmek için Dalgacık Dönüşümü yöntemi önerilmiş ve başarımları test edilmiştir.

2. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık Dönüşümü, durağan ve durağan olmayan ve geçici durum özelliği olan sinyaller için kullanılan sinyal işleme yöntemidir [17-18]. Bu yöntem sinyali, farklı ölçeklerde çözünürlük seviyelerine tek bir fonksiyonu genişleterek ayrıştırır [17-18]. Dalgacık Dönüşümü'nde sinyal zaman-frekans gösterimi ile analizini gerçekleştirir ve geleneksel sinyal işleme yöntemleri tarafından belirlenemeyen detayları ortaya çıkarır. ECG sinyali durağan olmayan bir sinyal türü olduğundan analizi için oldukça önemli bir yöntem olmaktadır. Aynı zamanda DD'de kullanılan pencerenin ölçeklenebilir olması da önemli bir üstünlük olarak görülebilir [19]. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) [20-21];

$$SDD_{(a,b)} = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

Burada $f(t)$ dalgacık dönüşümü yapılacak giriş sinyalini, $\psi(t)$ pencere fonksiyonunu, a ölçekleme parametresini, b ise zaman (öteleme) parametresini göstermektedir. DD'de parametre seçiminde, küçük ölçek değerlerinde yüksek frekans bileşenleri, yüksek ölçek değerlerinde ise küçük frekans bileşenleri daha iyi analiz edilir [20-21].

2.1. Kaotik Gürültünün Elde Edilmesi

Bu çalışmada, ECG sinyaline bozucu giriş olarak kaotik gürültü eklenmiştir. Kaotik gürültü elde edebilmek için Lorenz Denklemleri kullanılmıştır. Kaotik Lorenz Denklemi iki boyutlu akışkan davranışı için öne sürülen ve yaygın bir şekilde kullanılan kaotik sistemdir [2]. Kaotik Lorenz sistemi [2];

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -ax + ay \\ \frac{dy}{dt} &= cx - y - xz \\ \frac{dz}{dt} &= -bz + xy\end{aligned}\quad (2)$$

Bu denklemde, a, b, c, Lorenz sistemine ait parametreler, x, y ve z dinamik değişkenlerdir. Eşitliklerden de görüldüğü gibi bu kaotik sistem, 3.dereceden bir sistemdir. Bu özelliklerinden dolayı geniş bir frekans bölgesine yayılmış periyodik olmayan salınımlar üretir [2].

2.2. Gürültü Giderimi

Gürültü giderimi algoritması için gürültü ile bozulmuş sinyalleri gürültüden gidermek için kullanılan yöntemler denilebilir. Gürültü ile bozulmuş asıl sinyalin yüksek frekanslı bileşenleri olabilir dolayısıyla klasik gürültü giderim algoritmaları asıl sinyali koruyamayabilir. Bu nedenle Dalgacık Dönüşüm algoritmaları bu tip sinyaller için oldukça önemli olmaktadır [22-23]. Gürültü giderimi için Dalgacık Dönüşümü kullanılan algoritma aşağıda adımlar halinde verilmiştir [22-23].

- İlk olarak gürültü ile bozulmuş olan asıl sinyalimize (gürültülü sinyale) en uygun l seviyeli DD uygulanarak dalgacık katsayıları elde edilir ($D_{j,k}$).
- Daha sonra elde edilen katsayılar kullanılarak gürültünün varyansı hesaplanır.

$$\sigma^2 = \frac{\text{med}|D_{j,k}|}{0,6745}\quad (3)$$

Bu denklemde, med(.) medyanı ifade ederken $D_{j,k}$ ise dalgacık katsayılarını göstermektedir.

- Gürültülü sinyale ait varyans hesaplandıktan sonra eşik değeri aşağıda verilen denklem yardımıyla bulunur.

$$E = \sigma^2 \sqrt{2 \cdot \log(n)}\quad (4)$$

Burada E eşik değerini ifade ederken n ise örnek sayısını temsil etmektedir.

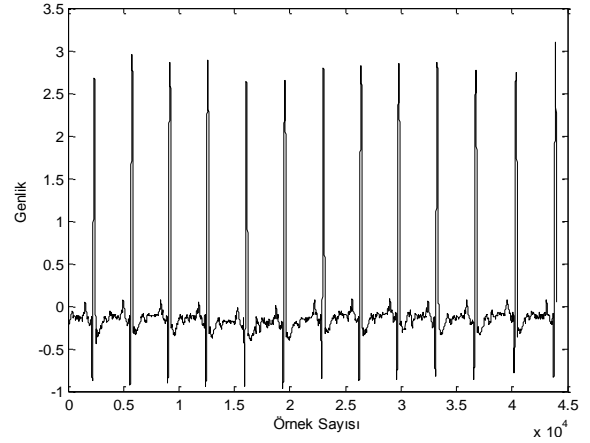
- Eşik değeri hesaplandıktan sonra uygun bir eşikleme yöntemi (Sert eşikleme veya Yumuşak eşikleme) kullanılarak adeta filtreleme yapılır. Bu işlem sonucunda

gürültü olarak kabul edilen tüm dalgacık katsayıları sıfır yapılmıştır.

- Eşikleme işleminden sonra elde kalan yani gürültü olarak kabul edilmeyen dalgacık katsayıları tekrar birleştirilerek asıl sinyal elde edilir.

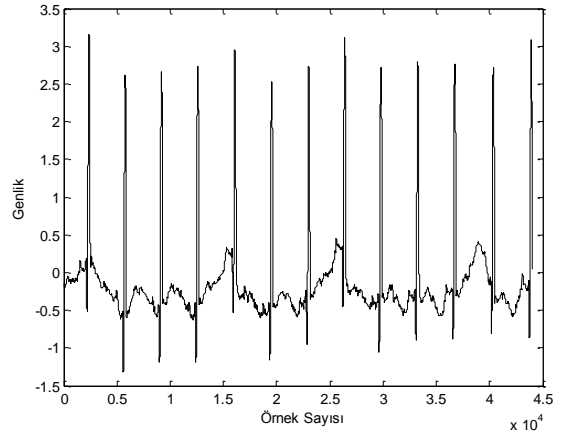
2.3. Benzetim Çalışmaları ve Sonuçları

Bu makalede, biyomedikal sinyallerden biri olan ECG sinyalinin gürültüden arındırılması ile ilgili çalışma yapılmıştır. Bozucu giriş olarak kaotik gürültü sinyale eklenmiştir. Daha sonra Bölüm 2.2'de verilen algoritma yardımıyla gürültülü ECG sinyalinden gürültü bileşenleri imha edilmiştir. Ancak başarımlı belirli SGO (Sinyalin Gürültüye Oranı) oranlarında daha fazla olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ECG sinyali Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology veri tabanından faydalanılarak alınmıştır [24]. Alınan ECG sinyali örnek sayısı 44000 olacak şekilde tekrar örneklenmiştir. Çalışmada kullanılacak gürültüsüz ECG sinyaline ait grafik Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Gürültü eklenmemiş ECG sinyali

Şekil 1'de verilen ECG sinyaline SGO oranı 7.65 dB olacak şekilde gürültü eklenirse Şekil 2'de gösterildiği gibi gürültülü ECG sinyali elde edilir.

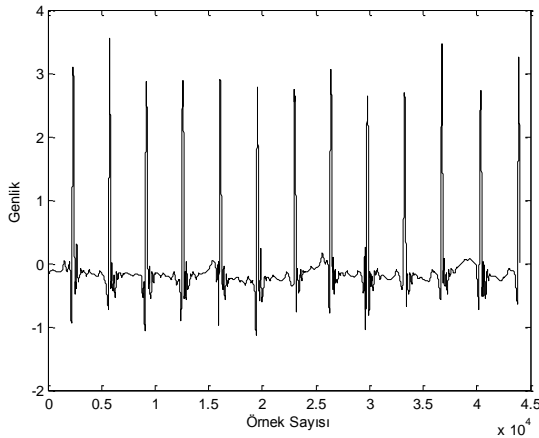


Şekil 2: Gürültü eklenmiş ECG sinyali

Bölüm 2.2’de önerilen algoritma ile; 8 seviyeli ayrışım ağacı, dalgacık ailesi türlerinden biri olan Daubechies 3 (db3) dalgacığı seçilerek gürültülü sinyale uygulanmıştır. Çeşitli SGO oranlarında gürültü eklenerek başarımlar test edilmiştir. Başarım kriteri olarak Ortalama Karese Hatanın Karekökü (OKHK) kullanılmıştır. Bu değerlendirme kriterinin matematiksel gösterimi aşağıda verilmiştir.

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (G(i) - T(i))^2} \quad (5)$$

Bu eşitlikte, $G(i)$ asıl sinyali $T(i)$ ise gürültüsü giderilmiş sinyali göstermektedir. n ise örnek sayısını ifade etmektedir. Şekil 3’de gürültü oranı SGO=17.19 dB için gürültülü ECG sinyalinin gürültüden giderilmiş grafiği verilmiştir



Şekil 3: Gürültüden giderilmiş ECG sinyali

Çizelge 1’de çeşitli gürültü oranları için elde edilen başarımlar verilmiştir.

Çizelge 1: Çeşitli Gürültü Oranları için Elde Edilen Başarımlar

SGO (dB)	OKHK
1.63	0.778
2.23	0.796
3.21	0.825
5.15	0.871
6.31	0.894
7.65	0.914
9.23	0.933
11.17	0.950
13.67	0.963
17.19	0.974
23.21	0.980

Çizelge 1’de ECG sinyaline çeşitli oranlarda kaotik gürültü eklendiği zaman elde edilen OKHK değerleri verilmiştir. SGO oranının düşük kaldığı durumlarda değerlendirme kriterinden başarımlarında düşük olduğunu anlıyoruz. İncelenen yöntemle benzetim çalışmaları yapılan kaotik gürültülü ECG sinyali için

yaklaşık 17 dB değerinden sonra başarımın istenilen değerlere geldiği ifade edilebilir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, kaotik gürültüye maruz kalmış ECG sinyalini gürültüden giderebilmek için Dalgacık Dönüşümü yöntemi incelenmiştir. DD yöntemi ile birlikte db3 dalgacığı seçilmiştir. Ayrışım ağacı 8 seviye olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda eşikleme yöntemi olarak Sert eşikleme seçilmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında yöntemin etkinliği belirli SGO oranlarına kadar tespit edilmiştir. Yöntemin etkinliğini artırabilmek için eşikleme yöntemi teknikleri ile birlikte farklı dalgacık türlerinde değerlendirilip başarımlar test edilebilir.

4. Kaynaklar

- [1] Fattah, A., Elramly, S., Ibrahim, M. ve Abdel-h-Hafez, A., “Denoising Algorithm for Noisy Chaotic Signal by Using Wavelet Transform:Comprehensive Study”, *6th International Conference on Internet Technology and Secured Transactions*, 2011,79-85.
- [2] Yardım, F.E. ve Afacan, E., “ Lorenz-Tabanlı Diferansiyel Kaos Kaydırmalı Anahtarlama (DCSK) Modeli Kullanılarak Kaotik Bir Haberleşme Sisteminin Simülasyonu”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25., 101-110, 2010.
- [3] Gündüz, G., “Kargaşa Kaos ve Şekil Oluşumları”, METU Press, 538-556, 2002.
- [4] Pamuk, N., “Dinamik Sistemlerde Kaotik Zaman Dizilerinin Tespiti”, *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, 15(1), 77-91, 2013.
- [5] Üstündağ, M., “ECG Sinyallerinde Gürültü Gidermek için Dalgacık Dönüşümünün FPGA Tabanlı Donanımsal Gerçekleşmesi”, *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(2), 63-68, 2013.
- [6] Borries, R.V., Pierluissi, J. H., and Nazeran, H., “Redundant Discrete Wavelet Transform for ECG Signal Processing”, *Biomedical Soft Computing and Human Sciences*, 2., 69-80, 2009.
- [7] Wu, Y., Rangayyan, R.M., Zhou, Y., and Ng, S.C., “Filtering electrocardiographic signals using an unbiased and normalized adaptive noise reduction system”, *Medical Engineering & Physics*, 1., 17-26, 2009.
- [8] Sayadi, O. and Shamsollahi, M.B., “ECG denoising and compression using a modified extended kalman filter structure”, *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, 9., 2240-2248, 2008.
- [9] Sivannarayana, N. and Reddy, D.C., “Biorthogonal wavelet transforms for ECG parameters estimation”, *Medical Engineering and Physics*, 21., 167-174, 1999.
- [10] Kantz, H. and Schreiber, T. *Nonlinear Time Series Analysis*, 2nd ed.Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2004.
- [11] Lalley, S. P. And Nobel, A. B., “Denoising deterministic time series”, *Dynam. PDE*, vol. 3, 259–279, 2006.
- [12] Bahoura, M. and Ezzaidi, H., “FPGA-Implementation of Wavelet-based Denoising Technique to Remove Power-Line Interference from ECG Signal”, *IEEE*, 978-1-4244-6561-3/10, 2010.
- [13] Zhidong, Z. and Min, P., “ECG denoising by sparse wavelet shrinkage”, in *Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 786-789, 2007.

- [14] Alfaouri, M. and Daqrouq, K., "ECG denoising by sparse wavelet shrinkage", *American Journal of Applied Sciences*, 5(3), 276-281, 2008.
- [15] Sayadi, O. and Shamsollahi, M.B., "ECG denoising with adaptive bionic wavelet transform", in *28th Annual International Conf. of IEEE on Eng. In Med. and Biology Society EMBS'06*, 2006, 6597-6600.
- [16] Donoho, D.L., "Nonlinear wavelet methods for recovering signals, images, and densities from indirect and noisy data", *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics*, 1993, 173-205.
- [17] Strang, G. and Nguyen, T., *Wavelets and Filter Banks*, Cambridge Press, Wellesley, 1996.
- [18] Uyar, M., Yıldırım, S., Gençoğlu M.T., "Güç kalitesindeki bozulma türlerinin sınıflandırılması için bir örüntü tanıma yaklaşımı", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26, 1, 41-56, 2011.
- [19] Uyar, M., Yıldırım, S., Gençoğlu, M.T., "Güç kalitesi problemlerinin analizi için işaret işleme yöntemlerinin karşılaştırılması", *Firat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25 (1), 21-31, 2013.
- [20] Goswami J, C. and Chan A. K., *Fundamentals of Wavelets Theory, Algorithm and Applications*, John Wiley & Sons, USA, 1999.
- [21] Fliege, N.J. *Multirate digital signal processing*, John Wiley & Sons, Chichester, 1996.
- [22] Üstündağ, M., Avcı, E., Gökbulut, M., Ata, F., "Dalgacık Paket Dönüşümü ve Genetik Algoritma Kullanarak Zayıf Radar Sinyallerinin Gürültüden Arındırılması", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29., 375-383, 2014.
- [23] Üstündağ, M., Gökbulut, M., Şengür, A. ve Ata, F., "Denoising of weak ECG signals by using wavelet analysis and fuzzy thresholding", *Network Modeling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics*, 1., 135-140, 2012.
- [24] Internet: Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology, <http://ecg.mit.edu/>.