

Özel Bir Dalgacık Kullanarak Dalgacık Dönüşümü İle QRS Belirleme QRS Detection With Wavelet Transform Using A Custom Wavelet.

Cem Sakarya¹, Sami Arıca²,

¹Elektronik ve Otomasyon Bölümü
Niğde Üniversitesi
csakarya@nigde.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Çukurova Üniversitesi
arica@cu.edu.tr

Özet

QRS algılama EKG analizinde önemli bir rol oynamaktadır. QRS'nin şeklinin yanı sıra oluşma süresi kalbin o andaki mevcut durumu hakkında çok miktarda bilgi içermekte ve R dalgasının tepe pozisyonu kalp atımının zaman oluşumuna karşılık gelmektedir. Bu çalışmanın amacı bir araç olarak dalgacık dönüşümünü kullanarak EKG işaretleri içerisinde QRS dalgasını algılamaktır. Daha etkin bir algılama için özel bir dalgacık üretilmiş; R dalgasının şekline benzeyen bir ölçekleme fonksiyonu ve onun dalgacık karşılığı tasarlanmıştır. Bu çoklu çözünürlüklü sistem kullanılarak, yakınlık ve detay katsayıları hesaplanmıştır. EKG işaretinin ilk 30 saniyelik bölümünden yerel bir eşik belirlenmiş ve R tepelerine karşılık gelen katsayıları belirlemek için yakınlık ve detay katsayılarına uygulanmıştır. Özel sistemin performansı, şekil olarak kendisine benzeyen yaygın dalgacıkların başarısına yakın veya daha iyidir.

Abstract

QRS detection is important in ECG analysis because the time of its occurrence as well as its shape provide much information about the current state of the heart and the time occurrence of the peak value of the R wave corresponds to the time occurrence of the heart beat. The objective of this work is to detect QRS wave in ECG signals by using wavelet transform as a tool. For more efficient detection, we generate a custom wavelet; a scaling function resembling the shape of the R wave and its wavelet counterpart are designed. By employing this multiresolution system, the approximation and detail coefficients are computed. A global threshold is determined from the first 30 seconds of the ECG and is applied to the approximation and detail coefficients to extract the coefficients addressing the R peaks. The performance of the custom system was better than or near to the ordinary wavelets similar with the custom wavelet in shape.

1. Giriş

Kalbin elektriksel aktivitesini gösteren EKG işaretlerini tanımlamak ve analiz etmek, büyüklüklerinin ve biçimlerinin

değişebilmeleri ve önemli miktarda gürültü ihtiva etmeleri nedeniyle güçlükler taşımaktadır [15][13].

EKG sinyallerinin işlenmesinde değişik yöntemler kullanılmıştır. İlk uygulamalar zaman bölgesinde yapılmıştır ve EKG işaretinin türevini alarak tepe noktalarını belirlemektedir. EKG sinyallerinin durağan olmamalarından dolayı tüm niteliklerinin analiz edilebilmesi bakımından yetersiz kalmışlardır. Bu yöntemler R tepesini diğer tepelerden ayırmak için EKG'nin eşik seviyesine tabi tutulmasını gerektirmektedir. 1985 yılında Pan ve Tompkins [21] QRS kompleksini tanımlamak için bir algoritma önermişler, keskin dalgaların konumunu ve genliğini analiz etmişler ve özel bir sayısal band geçiren süzgeç kullanarak hatalı EKG algılanmasını azaltmışlardır. Ruha ve ark. [16] ve Li ve ark. [12] zaman bölgesi yönetimi üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) frekans bileşenlerinin işlenmesine yönelik geliştirilmiş olmasına rağmen frekans bileşenlerinin zaman eksenindeki yerlerinin tam olarak belirlenememesinden dolayı başarısız olmuştur [2]. Bir başka çözüm olan dalgacık dönüşümü dalgacıkların analizi üzerine dayanmaktadır ve her bir dalgacık zaman süresine, zaman yerleşimine ve frekans bandına sahip olup biyomedikal işaretlerin işlenmesinde güçlü bir araç olup birçok biyomedikal uygulamada başarı ile uygulanmaktadır [18]. Dalgacık dönüşümü EKG işaretlerinin analizinde değişik amaçlar için kullanılmakla beraber EKG karakteristiklerinin algılanması, sıkıştırma ve gürültü süzgeçleme önemli uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Dalgacık tabanlı QRS algılaması da oldukça yaygın olarak üzerinde çalışılmıştır.

Kozakevicius ve ark.[8] EKG işaretlerini süzgeçlemişler, Haar dalgacık dönüşümünü kullanarak QRS kompleksini algılamışlardır. Kadambe ve ark.[7] ikili dalgacık dönüşümü dayalı bir QRS kompleks algılayıcısı tanımlamışlardır. Tasarladıkları dalgacığın ölçekleri EKG işaretinin spektral karakteristiklerini algılayabilecek şekilde seçilmiştir. Szilagyi [20] QRS kompleksinin yerini belirlemek, normal ve normal olmayan atımları ayırmak için dalgacık dönüşümüne dayalı QRS algılaması üzerinde çalışmıştır. Legarreta ve ark.[10] sürekli dalgacık dönüşümünü uygulayarak Li ve Kadambe'nin çalışmalarını iletmişlerdir.

Bazı araştırmacılar ise bilindik bazı dalgacıkları QRS algılaması için kullanmışlardır. Ktata ve ark. [9] Daubechies dalgacık, Daqrouq ve ark. [4] Symlet dalgacık ve Elgendi ve ark.[5] Coiflet dalgacık kullanarak QRS algılama algoritmaları tanımlamışlardır. Kumari ve ark. [10] kendi dalgacıklarını oluşturarak QRS algılaması için kullanmışlar. Bu işlem için tam yeniden oluşturma için gerekli olan şartları sağlayacak süzgeç tasarlayarak dikey temel dalgacık tasarlamışlardır ve bir 4.4 ve dB4 gibi standart dalgacıklar ile performansını kıyaslamışlardır.

Zhou ve ark.[22] ilk kez Hilbert dönüşümünü QRS algılamasında uygulamışlar, Benitez ve ark. [1] ve Oliveria ve Cortez [13] daha sonraları Hilbert dönüşümü üzerinde çalışmışlardır.

Bu çalışmada QRS kompleksini az sayıda genişleme katsayıları ile temsil etmek için ölçekleme ve dalgacık işlevi çifti oluşturulmuş (çoklu çözünürlüklü bir sistem) ve EKG işaretlerinin dalgacık dönüşüm katsayıları QRS kompleksini algılamak başka bir ifade ile R dalgalarının yerini belirlemek için kullanılmıştır

2. Yöntem

Herhangi bir işaret aşağıdaki eşitlik ile temsil edilebilir.

$$x(t) = \sum_k a_k 2^{j/2} \phi(2^j t - k) + \sum_k b_k 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \approx \sum_k a_k 2^{j/2} \phi(t - k) \quad (1)$$

Burada j ölçekleme indisi, b_k detay katsayıları ve a_k yakınlık katsayıları olup a_k dikey bir sistemde aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$a_k = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \phi(t - k) dt \quad (2)$$

Yukarıdaki ifadede açıkça görüldüğü gibi dalgacık dönüşümü temel işlev ile analiz edilen işaret arasındaki benzerliği ölçer. Dolayısıyla ilgilenilen işarete benzer bir temel işlev güçlü bir benzerlik indeksi sağlayacağından önemlidir. Şayet ölçekleme işlevi, R tepesi dalga şekline benzer ise az sayıda katsayı ile iyi bir yaklaşım elde etmek mümkündür.

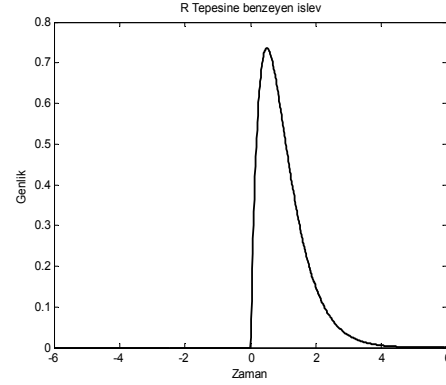
Aşağıdaki kısımda uygun ölçekleme işlevinin oluşturulması açıklanmıştır.

2.1. Özel Çoklu Çözünürlüklü Sistem

Çalışmada R tepesine benzeyen aşağıdaki fonksiyon tanımlanmıştır.

$$r(t) = (a)^{2t} e^{-at} u(t) \quad (3)$$

Burada $a=2$ alınmıştır. Fonksiyonun çizimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Temel işlev oluşturmak için kullanılan işlev (a=2)

Dönüşüm ekseninde enerjiyi koruyabilmek için dikeyleştirme gereklidir ve bu nedenle bu temel işlevden yola çıkarak dikey ölçekleme işlevi elde edilecektir [5]. Dikey ölçekleme işlevi sıklık bölgesinde,

$$\Phi(\omega) = K(\omega)R(\omega) \quad (4)$$

şeklinde verilsin. Diklik koşulu sıklık bölgesinde aşağıdaki gibidir.

$$\sum_{l=-\infty}^{\infty} \Phi(\omega - 2\pi l) \Phi^*(\omega - 2\pi l) = 1 \quad (5)$$

$K(\omega)$ aşağıdaki gibi seçilirse.

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{l=-\infty}^{\infty} |\Phi(\omega - 2\pi l)|^2}} \quad (6)$$

diklik koşulu sağlanır. O halde

$$\Phi(\omega) = \frac{R(\omega)}{\sqrt{\sum_{l=-\infty}^{\infty} |\Phi(\omega - 2\pi l)|^2}} \quad (7)$$

ile elde edilebilir. Eşitlik (7)'ye ters Fourier dönüşümü uygulanır ise dikey ölçekleme işlevi Eşitlik (8)'deki gibi elde edilebilir.

$$\phi(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} p_k r(t - k) \quad (8)$$

Burada p_k , $K(\omega)$ 'nın Fourier serisi katsayılarıdır. Genişleme eşitliği denklem (7) için kullanılırsa;

$$\Phi(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} H\left(\frac{\omega}{2}\right) \Phi\left(\frac{\omega}{2}\right) \quad (9)$$

$$H(\omega) = \sqrt{2} \frac{K(2\omega)\Phi(2\omega)}{K(\omega)\Phi(\omega)} \quad (10)$$

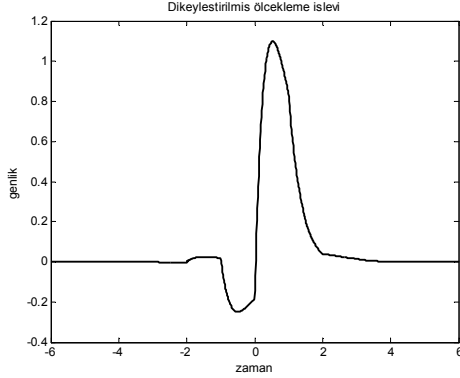
elde edilir. Denklem 10'un ters Fourier dönüşümü alçak geçiren süzgeç katsayıları; h_k 'yı, verecektir. Yüksek geçiren süzgeç katsayıları

$$g_k = (-1)^k h_{1-k} \quad (11)$$

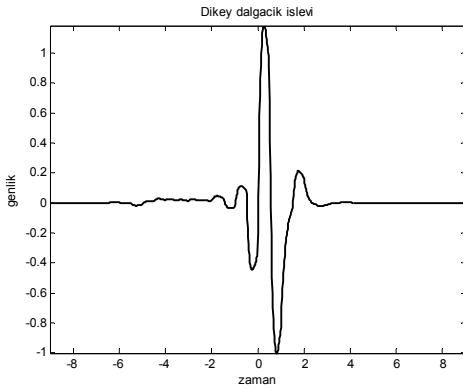
eşitliği ile elde edilir [19]. İki-ölçek ilişkisinden dalgacık fonksiyonu bulunabilir.

$$\Psi(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} G\left(\frac{\omega}{2}\right) \Phi\left(\frac{\omega}{2}\right) \quad (12)$$

Dikeyleştirilmiş ölçekleme işlevi ve dalgacık işlevi sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te görülmektedir.



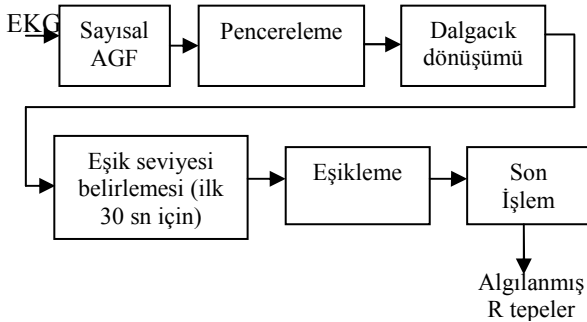
Şekil 2: Dikeyleştirilmiş Ölçekleme İşlevi



Şekil 3: Şekil 2 teki ölçekleme işlevine karşılık gelen dalgacık işlevi

2.2 QRS Algılama Algoritması

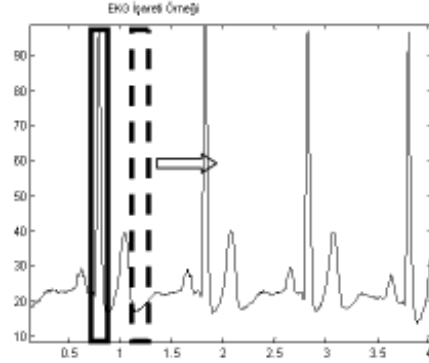
Bu çalışma her biri 1KHz örnekleme frekansına sahip ve 300000 örnek uzunluğunda EKG işaretleri kullanılmıştır. İşaretler, İnce ve Arıca [6] tarafından, 36-56 yaş grubunda 6 kadın ve 9 erkekten oluşan deneklerden Lead II bağlantısı kullanılarak kayıt edilmiştir. Çalışmada kullanılan EKG işaretleri sağlıklı insanlara aittir. Aşağıdaki şekilde QRS ve R tepesi belirleme algoritması görülmektedir. Algoritma yakınlık, detay ve büyüklük katsayılarına uygulanmıştır.



Şekil 4: Temel QRS Algılama İşlemi

Başlangıçta 20. Dereceden 50 Hz'lik kesim frekansına sahip sayısal FIR alçak geçiren süzgeç kullanılarak EKG işareti yüksek frekanslı kas gürültüsünden ve 50 Hz ve harmoniklerinden oluşan güç hattı gürültülerinden süzgeçlenmiştir.

Pencereleme katında EKG sinyalindeki R tepesini içine alabilecek genişlikte bir pencere tanımlanmıştır. Bu uygulamada pencere uzunluğu 100 milisaniyeye karşılık gelecek şekilde 100 örnek olarak belirlenmiş ve bu pencere EKG sinyali süresince her bir adımda 10 örnek kaydırılmıştır. Her bir pencereden elde edilen veri depolanmıştır. Sonunda EKG sinyali parçalarını içeren ECG veri kümesi elde edilmiştir. Pencereleme işlemi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: Örnek bir EKG İşareti Üzerinde Pencereleme İşlemi

Yakınlık, detay ve büyüklük katsayı kümelerinin hesaplanmasında sırasıyla aşağıdaki hesaplamalar ECG veri kümeleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

$$a_{j,k} = \langle x(t), \phi_{j,k}(t) \rangle \quad (13)$$

$$b_{j,k} = \langle x(t), \psi_{j,k}(t) \rangle \quad (14)$$

$$mag_{j,k} = \sqrt{a_{j,k}^2 + b_{j,k}^2} \quad (15)$$

Burada $x(t)$ her bir pencereye karşılık elde edilen EKG işareti parçasıdır. Pencereleme sonrası elde edilen işaret parçası sadece bir yakınlık veya detay veya büyüklük katsayısı ile temsil edilmektedir. Çalışmada kullanılan EKG işaretlerinin her biri için ilk 30 saniyelik bölümden gelen katsayılar bir eşik seviyesi belirlemek için kullanılmışlardır. Bu işlem için öncelikle katsayılar içerisinde en düşük değerli 1/3 lük kısım atılmış, eşik seviyesinin yeterince yüksek olabilmesi için geri kalan katsayılardan tekrar 1/3 lük düşük değerli kısım atılıp yeniden bir eşik seviyesi elde edilerek EKG işaretinin tamamına uygulanarak R tepesi olma potansiyeline sahip indisler elde edilmiştir. Son işlem katında T, Q veya S tepelerinin yanlışlıkla R tepesi olarak işaretlenmesini önlenmektedir. Algoritma yukarıda bahsedilen özel ölçekleme işlevi ve dalgacık işlevi yanında kıyaslama yapabilmek için literatürde kullanılan bazı bilindik dalgacık işlevleri için de çalıştırılmıştır.

3. Deneysel Sonuçlar

Aşağıdaki çizelgelerde dikeyleştirilmiş özel dalgacık ve bilindik bazı dalgacıkların 3 farklı katsayıya uygulanması ile elde edilen sonuçlar görülmektedir. Burada R1, Şekil 5'teki algoritma sonucu elde edilen R tepesi sayısının gerçek R tepesi sayısına oranını, R2 ise son işlem katı sonrası kalan R

tepesi sayısının son işlem katı öncesinde algılanan R tepesi sayısına oranını ifade etmektedir. R1 değeri algoritmanın R tepesi algılama başarısını gösterirken, R2'nin değeri son işlem katını performansı göstermesi açısından önemlidir.

Çizelge 1: Özel dalgacık kullanılarak elde edilen sonuçlar

Katsayı Türü	Veri Türü	Genel Başarı
Yakınlık katsayısı	R1	0,993
	R2	0,191
Detay katsayısı	R1	0,988
	R2	0,217
Büyüklik katsayısı	R1	0,990
	R2	0,155

Çizelge 2 Daubechies Dalgacığı kullanılarak elde edilen sonuçlar

Katsayı Türü	Veri Türü	Genel Başarı			
		dB5	dB6	dB7	dB8
Yakınlık katsayısı	R1	0,977	0,986	0,965	0,946
	R2	0,192	0,237	0,200	0,166
Detay katsayısı	R1	0,963	0,953	0,948	0,954
	R2	0,174	0,171	0,191	0,210
Büyüklik katsayısı	R1	0,977	0,945	0,975	0,956
	R2	0,169	0,140	0,188	0,162

Çizelge 3: Symlet Dalgacığı kullanılarak elde edilen sonuçlar

Katsayı Türü	Veri Türü	Genel Başarı		
		Sym3	Sym4	Sym5
Yakınlık katsayısı	R1	0,984	0,978	0,970
	R2	0,230	0,185	0,156
Detay katsayısı	R1	0,990	0,986	0,986
	R2	0,233	0,200	0,206
Büyüklik katsayısı	R1	0,988	0,983	0,981
	R2	0,234	0,189	0,187

Çizelge 4: Coiflet Dalgacığı kullanılarak elde edilen sonuçlar

Katsayı Türü	Veri Türü	Genel Başarı		
		Coif3	Coif4	Coif5
Yakınlık katsayısı	R1	0,979	0,987	0,987
	R2	0,193	0,210	0,184
Detay katsayısı	R1	0,986	0,988	0,984
	R2	0,203	0,215	0,205
Büyüklik katsayısı	R1	0,979	0,987	0,987
	R2	0,193	0,210	0,184

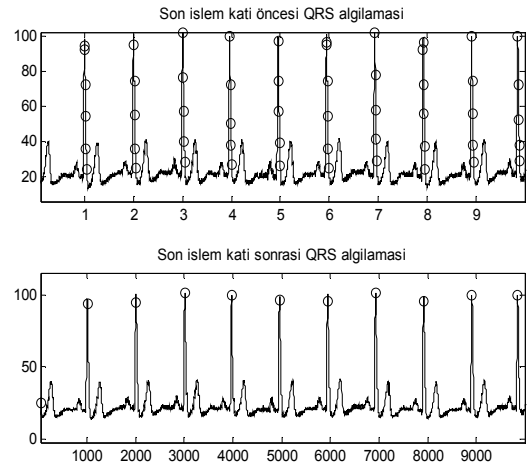
Çizelge 5 ise Ayrık Dalgacık Dönüşümünün denklem (11)'e uygulanması ile elde edilen özel süzgeçlerin kullanılmasıyla elde edilen sonuçları göstermektedir.

Çizelge 5: Özel Dalgacığın Ayrık Dalgacık Dönüşümü'ne uygulanması ile elde edilen sonuçlar

Katsayı Türü	Veri Türü	Genel Başarı
Yakınlık katsayısı	R1	0,986
	R2	0,224
Detay katsayısı	R1	0,985
	R2	0,264
Büyüklik katsayısı	R1	0,986
	R2	0,226

Çizelgeler incelendiğinde özel dalgacık işlevinin genel olarak yaklaşık %99 oranında bir başarı gösterdiği görülmektedir. Özel dalgacık işlevine yakın başarı symlet3 ve coiflet4 dalgacık işlevleri ile sağlanmaktadır. Ayrık Dalgacık dönüşümü kullanarak benzer düzeyde başarıya ulaşılmıştır. Bu dönüşümün avantajı ise işlem süresinin çok daha kısa sürmesidir. Pencere kaydırma katsayısını azaltıp çözünürlüğü artırarak başarı yüzdesini yukarı çekmek mümkündür ancak bu durumda işlem süresi de uzayacaktır.

Şekil 6'de ise son işlem katı öncesi ve sonrası algılanan R tepeleri görülmektedir. Görüldüğü gibi tasarladığımız son işlem algoritması oldukça verimli çalışmaktadır.



Şekil 6: Örnek bir işarette son işlem katı öncesi ve sonrası elde edilen QRS algılaması

4. Sonuçlar

Bu çalışmada QRS algılamasına uygun çoklu çözünürlüklü bir sistem geliştirilmiştir. R dalgası şekline benzeyen bir işlevden yola çıkılarak dikeyleştirilmiş ölçekleme işlevi ve onun karşılığı olan dalgacık işlevi tasarlanmıştır. Bu işlevler kullanılarak özel alçak geçiren ve yüksek geçiren süzgeç ikilisi oluşturulmuştur. Dikeyleştirilmiş ölçekleme ve dalgacık işlevleri farklı EKG sinyalleri üzerinde uygulanmış ve performanslarını kıyaslayabilmek için literatürde bulunan bilindik bazı dalgacık işlevlerinin de aynı EKG işaretleri üzerindeki performansları incelenmiştir. Özel dalgacık işlevi yaklaşık %99 oranında bir başarıyı yakınlık katsayısını kullanarak sağlamaktadır, ayrık dalgacık dönüşümü ile de çok daha kısa bir işlem süresinde aynı başarıya ulaşılmıştır; dB6, Sym3 ve Coif4 dalgacıklarının performansı da sürekli zaman dalgacık dönüşümü ile hemen hemen aynıdır.

5. Kaynaklar

- [1] Benitez D.S., Gaydeckı P.A., Zaidı A., Fitzpatrick A.P., "A New QRS Detection Algorithm Based on the Hilbert Transform", *Computers in Cardiology*, 379- 382., 2000
- [2] Burrus C.S., Gopinath R.A., Guo H., *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms, a Primer*, Prentice Hall, 1997
- [3] Çelik U., Arica S., "Classification of the Visual Evoked EEG Using Multiresolution Approximation Based on Excitatory Post-Synaptic Potential Waveform", *IEEE 26-th Convention of Electrical and Electronics Engineers*, 929-933, 2010
- [4] Daqrouq K., Abu-Isbeih I.N., Al-Qaswasmı A.R., "QRS Complex Detection Based on Symlets Wavelet Function", *Systems, signals and Devices, IEEE 5th International Multi Conference*, 2008, 1-5.
- [5] Elgendi M., Jonkman M., De Boer F., "R Wave Detection using Coiflets Wavelets", *Proceedings IEEE*, 1-4., 2009
- [6] Ince N.F., Arica S., Birand A., "A PC Based Data Acquisition and Signal Processing System for Measuring the Baroreceptor Sensitivity", *Proceedings of the IASTED International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications*, 93-97, 2003
- [7] Kadambe S., Murray R., Boudreaux G.F., "Wavelet Transform-Based QRS Complex Detector, *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on* Volume:46 Issue:7, 838-848. 1999,
- [8] Kozakevicius A., Rodrigues C., Nunes R.C., Filho R.G., "Adaptive ECG Filtering And QRS Detection Using Orthogonal Wavelet Transform", *Engineering in Medicine and Biology Society, Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE* vol.1: 1147-1148, 1998
- [9] Ktata S., Ouni K., Ellouze N., "ECG Signal Maxima Detection Using Wavelet Transform", *IEEE ISIE*, 700-703, 2006
- [10] Kumari R.S., Bharathi S., Sadasivam V., "Design of Optimal Discrete Wavelet for ECG Signal Using Orthogonal Filter Bank", *International Congress on Computational Intelligence and Multimedia Applications*, 525, 2007
- [11] Legarreta I., Addison P.S., Reed M.J., Grubb N.R., Clegg R., Robertson C.E. and Watson J.N., "Continuous Wavelet Transform Modulus Maxima Analysis of the Electrocardiogram: Beat-to-beat Characterization and Beat to- Beat Measurement", *Int. J. Wavelets, Multiresolution Inf. Process.* 3: 19-42, 2005
- [12] Li C.W., Zheng C.X., Tai C.F., "Detection of ECG Characteristic Points Using Wavelet Transforms", *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 42 (1): 21-28, 1995
- [13] Nova'k D., "Processing Of ECG Signal Using Wavelets", *Master Thesis, Czech Technical University in Prague*, 2005
- [14] Oliveria I.F., Cortez P.C., "A QRS Detection Based on Hilbert Transform and Wavelet Bases", *IEEE Workshop on Machine Learning for Signal Processing*, 481-489, 2004
- [15] Portoles L.B., "Lossless Compression of ECG signals, Performance Analysis in a Wireless Network", 2009
- [16] Ruha A., Sallmen S., Nissila S., "A Real-Time Microprocessor QRS Detector System With A 1ms Timing Accuracy For Measurement Of Ambulatory HRV", *Transactions on Biomedical Engineering*, 44(3):159-167, 1997
- [17] Sahambi J.S., Tandon S.M., Bhatt R.K.P., "Using Wavelet Transforms For ECG Characterization: an On-line Digital Signal Processing System", *IEEE ENG. Med. Biol.* 16: 77-83, 1997
- [18] Saritha C., Sukanya V., Murthy Y.N., "ECG Signal Analysis Using Wavelet Transforms", *Bulg. J. Phys.* 35, 68-77, 2008
- [19] Strang, Gilbert and Nguyen, Truong., "Wavelets and Filter Banks", *Wellesley-Cambridge Press*, 1996.
- [20] Szilagyı L., "On-Line QRS Complex Detection Using Wavelet Filtering", *Engineering in Medicine and Biology Society, Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE*, 2001, Volume: 2, 1872- 1874.
- [21] Tompkins W.J., Pan J., "A Real-Time QRS Detection Algorithm", *IEEE Transaction on Biomedical Eng. BME-32. No.3.* 230-235, 1995
- [22] Zhou S.K., Wang T.J., Xu R., "The Real-time Detection of QRS complex using the Envelope of ECG", *Proc. 10th Annu. Int. Conf.*, 1998, 38