

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/322216831>

Detection of ECG arrhythmia using large choi williams time-frequency feature set

Conference Paper · October 2017

DOI: 10.1109/TIPTEKNO.2017.8238090

CITATIONS

2

READS

59

2 authors:



Fulya Akdeniz

Kocaeli University

15 PUBLICATIONS 49 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Temel Kayikcioglu

Karadeniz Technical University

140 PUBLICATIONS 798 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Wireless Body Detection Devices And Remote Patient Tracking System [View project](#)



BCI based on rotating vanes [View project](#)

Büyük Choi Williams Zaman-Frekans Öznitelik Seti Kullanarak EKG Aritmi Tespiti

Detection of ECG Arrhythmia Using Large Choi Williams Time-Frequency Feature Set

Fulya Akdeniz¹, Temel Kayıkçıoğlu²

¹Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye
fulya.akdeniz@erdogan.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye
tkayikci@ktu.edu.tr

Özetçe— Kalp hastalıklarının önceden tespit edilip izlenmesi insan yaşam kalitesini artırır ve ortaya çıkabilecek olumsuz sonuçları engelleyebilir. Hatta ani ölümlerin önüne geçebileceğinden dolayı oldukça önemlidir. Günümüz teknolojisinde bu işlemler tele-tıp sistemleri sayesinde yapılabilmektedir. Çalışmada bu tür tele-tıp sistemleri için uygun yöntemler önerilmiştir. Önerilen sistem iki sınıflı olup sağlıklı ve hastalıklı ekg sinyallerinden aritmi tespitine dayanmaktadır. Çalışmada MIT-BIH Aritmi veritabanı kullanılmıştır. Bu veritabanından toplam 103026 R-R aralığı kullanılmıştır. Çalışmada öznitelik çıkarma yöntemi olarak Choi-Williams dönüşümü kullanılmıştır. Performans sonuçları sırasıyla test doğruluğu, duyarlılık, özgüllük ve pozitif prediktif değer %94.67, %94.97, %92.57, %97.36, %97.23 olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler — *Elektrokardiyogram (EKG); Zaman-Frekans Analizi; Choi-Williams Dönüşümü; Aritmi Tespiti; Teletıp*

Abstract— Early detection and monitoring of heart diseases increase human quality of life and this can prevent negative consequences. It is even more important because it can prevent sudden deaths. In today's technology, these operations can be done with telemedicine systems. In this work, appropriate methods have been proposed for telemedicine systems. The proposed system is of two classes and is based on detection of arrhythmia from healthy and diseased ECG signals. MIT-BIH Arrhythmia database was used in the study. A total of 103026 R-R interval were used in this database. In this study, the Choi-Williams transformation is used as an feature extraction method. The performance results are given as accuracy, specificity and positive predictive accuracy, respectively 94.67%, 94.97%, 92.57%, 97.36%, 97.23%.

Keywords— *Electrocardiogram (ECG); Time-Frequency Analysis; Choi-Williams Distribution; Arrhythmia Detection; Telemedicine*

978-1-5386-0633-9/17/\$31.00 ©2017 IEEE

I. GİRİŞ

Kalpте oluşan elektriksel işaretler kalbin sinoatrial düğümünde oluşur. Kalpte oluşan bu elektriksel işaretlerin kaydedilmesine Elektrokardiyografi (EKG) denir.

Günümüzde farklı kuruluşların yaptığı araştırmalara göre kalp rahatsızlıklarında birçok faktöre bağlı olarak artış görülmektedir. Bu faktörlerin başında stres durumları, çevresel koşullar, kalıtsal faktörler gelmektedir. Kalp rahatsızlıkları insan yaşamını olumsuz açılardan etkilemektedir. Gerekli önlemler alınmadığı zaman insanlarda kalıcı hasarlara hatta ani ölümlere bile yol açabilmektedir. Bu tür kötü sonuçların meydana gelmemesi ve oluşabilecek hasarları minimum seviyeye indirebilmek amacıyla kalp hastalıklarının önceden tespit edilmesi ve hastalık süresince takip edilmesi oldukça önemlidir. Bunların yapılabilmesi için ise EKG kayıtlarının hastadan düzgün bir şekilde alınması ve EKG sinyallerinin doğru bir şekilde işlenmesi büyük önem taşımaktadır.

TÜİK'in yaptığı araştırmalara göre ülkemizde kalp hastalıklarına bağlı ölümlerin yıldan yıla arttığı gözlemlenmiştir. 1989 yılında %40, 1993 yılında %45, 2009 yılında %40, 2013 yılında %39.6, 2014 yılında ise %40.4 oranlarıyla kalp hastalıklarına bağlı ölümler tüm ölüm nedenleri içerisinde ilk sırayı almaktadır [1]. Dünyada ise her yıl 17.5 milyon insanın kalp ve damar hastalıklarından hayatını kaybettiğine Dünya sağlık örgütünün (WHO) yaptığı araştırmalarda yer verilmiştir. Bu rakam ise dünyadaki ölümlerin yaklaşık % 31'ine denk gelmektedir [2].

Kalbin sürekli ve düzenli olarak izlenmesiyle potansiyel bir anormallik hakkında zamanında teşhis koymak mümkündür [3]. Bunun için ise günümüzde tele-tıp yöntemleri kullanılmaktadır. Tele-tıp olası kalp hastalıklarına sahip kişilerin uzaktan izlenip takip edilmesi ve riskli bir durumda hastanın, doktorun uyarılmasına dayanan bir sistemdir. Böylece tele-tıp sistemleri kalp

hastalıklarını önceden fark ederek kişinin tedavisine erkenden başlanılabilmesi, ortaya çıkabilecek kötü sonuçların önüne geçilebilmesi, hastaların sürekli hastaneye gitmesi gibi birçok durumu ortadan kaldırmaktadır.

Aritmi kalbin sinoatrial düğümünde meydana gelen düzensiz elektriksel işaretlerden veya kalbin diğer bölümlerinde oluşan anormal aktiviteden kaynaklanabilir. Bu düzensiz elektriksel işaretler inme veya ani kalp ölümüne neden olabilecek ciddi sorunlara işaret eder. EKG işaretinin şekli, aralıkları ve genliğindeki değişimler farklı EKG aritmilerinden kaynaklanabilmektedir [4]. Aritmiler EKG dalga şekilleri incelenerek tespit edilebilir. Ancak EKG şeklinin durağan olmayan yapısı nedeniyle hastalıklar rastgele meydana gelir. Bu nedenle EKG sinyali aritmileri tespit etmek için saatlerce izlenmelidir. Bu durum ise oldukça zaman alıcıdır ve insan hatası olasılığı vardır [5]. Dolayısıyla, aritmilerin hem hatasız tespit edilebilmesi için hem de zaman kayıplarını önlemek için bilgisayar tabanlı bir sistem geliştirilmesi oldukça önemlidir. Birçok araştırmacı aritmi tespiti yapabilmek için farklı yöntemler önermişlerdir.

Yapılan çalışmada aritmili EKG kayıtlarının sağlıklı EKG kayıtlarından ayırt edilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle kişilerde herhangi bir kalp aritmisinin olup olmadığını tespit edilmeye çalışılmıştır. Böylece hastalara zamanında müdahale edilerek yaşam kalitelerinin artırılması amaçlanmıştır. Ayrıca kullanılan veri tabanı literatürdeki çoğu veritabanına kıyasla daha büyüktür. Burdada yapılan işlemin kişilere bağlı olmadan herbireyde yüksek doğrulukla çalışması hedeflenmiştir.

II. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Aritmi tespiti yapabilmek için birçok araştırmacı farklı öznelik çıkarma yöntemleri ve farklı sınıflandırma teknikleri kullanarak çeşitli yöntemler önermişlerdir. Bu yöntemleri ise farklı veritabanları kullanarak test etmişlerdir. Markos G ve diğerleri [6] aritmi tespiti yapabilmek için öncelikle bir ön işleme uygulamışlardır. Ön işleme olarak EKG kayıtlarını takogram dedikleri her biri 32 R-R aralığı içeren parçalara bölmüşlerdir. Daha sonra R-R aralıklarını kullanarak zaman frekans yöntemlerini ve yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Veri tabanı olarak MIT-BIH aritmi veritabanını kullanmışlardır. M.Vijayavanan ve diğerleri [7] dalgacık dönüşümü (DWT) yöntemini kullanarak sinyali bir ön işlemeden geçirmişlerdir. Daha sonra ise EKG işaretinin morfolojik yapısını kullanarak özellik çıkarımına gitmişlerdir. Bu öznelikleri ise olasılıksal yapay sinir ağlarını (PNN) kullanarak sınıflandırmışlardır. EKG kayıtlarını MIT-BIH aritmi veritabanından almışlardır. Kemal Polat ve diğerleri[8] EKG aritmi tespiti için temel bileşen analizini (PCA) ve en küçük kareli destek vektör makinesi (LS-SVM) yöntemlerini kullanmışlardır. Veritabanı olarak Kalifornia Üniversitesinin Bilgi ve

Bilgisayar Bilimleri bölümünün makine öğrenmesi veri tabanından alınmıştır. Hari Mohan Rai ve diğerleri [9] çalışmalarında ilk aşama olarak gürültüleri gidermek için dalgacık dönüşümünü kullanmışlardır. Sinyalden öznelik çıkarmak için ise EKG sinyallerinin morfolojik özelliklerini ve dalgacık katsayılarını kullanmışlardır. Sınıflandırma tekniği olarak ise yapay sinir ağlarını (ANN) tekniğini kullanarak sistemi MIT-BIH veritabanından alınan kayıtlar üzerinde test etmişlerdir. Junggab Son ve diğerleri [10] çalışmalarında özellik çıkarmak için EKG dalgalarının morfolojik yapılarını kullanmışlardır. Sınıflandırma aşamasında ise karar ağacı sınıflandırıcılarından C4.5 algoritması ile sınıflandırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Malay Mitra ve diğerleri [11] çalışmalarında öznelik çıkarmak yöntemi olarak korelasyon tabanlı (CFS) tekniğini kullanmışlardır. Daha sonra sınıflandırma tekniği olarak ise geri yayımlı sinir ağı (IBPLN) ve Levenberg-Marquardt (LM) sınıflandırıcılarını kullanmışlardır. EKG kayıtlarını UCI veritabanından almışlardır. A. Dliou ve diğerleri [12] normal olmayan EKG sinyallerini belirleyebilmek için Wigner-Ville, Choi-Williams, Bessel ve Born-Jordan zaman frekans dönüşüm yöntemlerini kullanmışlardır. Normal olmayan EKG kayıtlarını supraventricular aritmi ve kötü huylu ventriküler aritmi hastalığına sahip olan kişilerden almışlardır.

III. YÖNTEM

Bu çalışmada herhangi bir EKG sinyalinde aritmi olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Öznelik çıkarmak için R-R aralıkları girdi olarak alınıp sinyale ön işleme aşamasında normalizasyon uygulanmıştır. Öznelik çıkarmak için yüksek zaman frekans çözünürlüğüne sahip olan Choi-Williams dönüşümü tercih edilmiştir. Ayrıca bu dönüşüm ortaya çıkabilecek çapraz terimleri bastırmak amacıyla üstel bir kernel fonksiyonu içermektedir. Sınıflandırma tekniği olarak destek vektör makineleri, K en yakın komşuluk teknikleri ve ağaç yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veritabanı, öznelik çıkarma yöntemi ve sınıflandırma teknikleri ise ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

A. Veri Tabanı

Çalışmada kullanılan veriler MIT-BIH aritmi [13] veritabanından elde edilmiştir. MIT-BIH aritmi veritabanından MLII derivasyonuna sahip EKG kayıtları kullanılmıştır. EKG kayıtların örnekleme frekansları 360 Hz olup yaklaşık her bir dosya 30 dakikadır. Toplam 46 dosyadan 73127 sağlıklı, 29899 aritmili olmak üzere toplamda 103026 R-R aralığı seçilmiştir. Toplamda 16 farklı EKG atım şekli seçilmiştir. Bu atımlar Normal, sol dal bloğu (LBBB), sağ dal bloğu (RBBB), erken kulakçık atımları (AP), anormal erken kulakçık atımları(aAP), nodal (junctional) erken atım (NP)supraventriküler erken

atım veya ektopik atım, erken karıncık atım (PVC), normal ve karıncık atım füzyonu (fVN), atriyal kaçak atım, nodal (junctional) kaçak atım (NE), ventriküler kaçak atım (VE), yapay vuru, yapay ve normal atım füzyonu (fPN), ventriküler flutter dalga ve sınıflandırılmayan atımdır.

B. Öznitelik Çıkarımı

Öznitelik çıkarma yöntemi sınıflandırma için önemli adımlardan biridir. Çünkü öznitelik çıkarma yöntemi iyi seçilmediği takdirde en iyi sınıflandırıcı yöntemleri bile kötü sonuçlar verebilmektedir.

EKG kayıtlarının ölçülmesi, kalbin kasılıp gevşemesi sırasında sinoatrial düğümde oluşan elektriksel aktiviteden kaynaklanan potansiyel farka dayanır. Bu potansiyel fark çok küçük olduğundan dolayı (milivoltlar seviyesinde) EKG işaretleri gürültülerden çok kolay etkilenebilmektedir. Çalışmada şebeke ve cihazdan ortaya çıkabilecek yanlış analizleri önlemek amacıyla EKG işareti normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Çalışmada öznitelik çıkarma yöntemi olarak Choi-Williams dönü ümü yöntemini kullanılmıştır. Bu yöntem üstel bir katsayı ile çapraz terim (cross-term) büyüklü ünü azaltmaktadır [14]. Bu çalışmada öznitelik çıkarmak için her bir R-R aralığına Choi-Williams dönü ümü uygulanmıştır. Daha sonra ekilsel olarak çok büyük farklılıklar göstermedi i için R-R aralıklarının ba langıç ve biti noktalarındaki %3 lük kısımları ihmal edilmiştir. Elde edilen i aretin geriye kalan kısmı 5 e it parçaya ayrılmıştır. İlk önce bu 5 parçanın maksimum ve minimum katsayıları hesaplanmış daha sonra ise birinci türevlerinin maksimum ve minimum katsayıları hesaplanarak 10 tane maksimum 10 tane minimum katsayıya sahip olan bir öznitelik vektörü elde edilmiştir [15].

C. Sınıflandırma

Bu çalışmadaki amacımız EKG sinyallerini normal ve aritmi olarak ayırt etmektir. Bunun için sağlıklı veriler bir sınıf aritmili veriler farklı bir sınıf olacak şekilde çalışma 2 sınıflı olarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada önerilen yöntemin performans analizini yapmak amacıyla birçok sınıflandırma tekniği kullanılmıştır. Bu işlem için Matlab yazılımındaki Classification Learner Toolbox'ı kullanılmıştır. Eğitim yapılırken 10-kat katlama (10-fold) yaklaşımı tercih edilmiştir.

IV. SONUÇLAR

Çalışmada önerilen yöntemlerin performanslarını belirlemek için yapılan işlemler üçer kez tekrarlanmıştır. Sistemin eğitim doğruluğu, test doğruluğu, duyarlılığı, özgüllüğü, pozitif prediktif değerleri (PPD) ve standart sapma değerleri hesaplanarak sistemin birçok açıdan analizi yapılarak sonuçlara Tablo 1' de yer verilmiştir.

V. TARTIŞMA

Tablo 1'de verildiği üzere doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve pozitif prediktif değerler sırasıyla 91.85 ve 94.97, 90.96 ve 94.62, 92.75 ve 97.36, 92.62 ve 97.23 arasında değişmektedir.

Sınıflandırma Metodu	Eğitim	Test			
	Doğruluk (%)	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	PPD (%)
Destek Vektör Makineleri (SVM)					
Kuadratik	92.27 ± 0.12	92.25 ± 0.11	91.51 ± 0.43	92.98 ± 0.20	92.88
Kübik	94.17 ± 0.06	94.33 ± 0.02	93.64 ± 0.04	95.02 ± 0.06	94.95
Fine Gaussian	94.67 ± 0.15	94.97 ± 0.06	92.57 ± 0.12	97.36 ± 0.02	97.23
Medium Gaussian	93.87 ± 0.12	93.98 ± 0.12	92.65 ± 0.12	95.31 ± 0.27	95.18
k-En Yakın Komşuluk (k-NN)					
Fine	94.50 ± 0.1	94.67 ± 0.06	94.62 ± 0.11	94.72 ± 0.05	94.71
Medium	94.50 ± 0.17	94.53 ± 0.08	92.83 ± 0.18	96.24 ± 0.04	96.11
Coarse	91.57 ± 0.06	91.85 ± 0.21	90.96 ± 0.32	92.75 ± 0.40	92.62
Kosinüs	94.20 ± 0.10	94.26 ± 0.20	91.83 ± 0.35	96.69 ± 0.07	96.52
Kübik	94.13 ± 0.12	94.20 ± 0.03	92.46 ± 0.21	95.95 ± 0.17	95.80
Weighted	94.67 ± 0.06	94.90 ± 0.08	94.13 ± 0.16	95.68 ± 0.02	95.61
Ağaç Yöntemleri					
Bagged Trees	94.77 ± 0.06	94.82 ± 0.05	93.83 ± 0.19	95.82 ± 0.12	95.74
Subspace k-NN	94.77 ± 0.06	94.89 ± 0.14	94.42 ± 0.23	95.35 ± 0.36	95.31

Tablo 1. Önerilen yöntemin performans analizi

Önerilen yöntem tek bir sınıflandırıcıyla değerlendirilmeyip bir çok farklı sınıflandırıcıya göre analizi yapılarak en iyi sonucun bulunması hedeflenmiştir. Çalışmada Destek vektör makineleri (SVM) sınıflandırıcılar arasında Fine Gaussian, k-en yakın komşuluk sınıflandırıcılar arasında Weighted k-NN, Ağaç yöntemleri arasında ise Subspace K-NN sınıflandırıcısının daha iyi olduğu görülmektedir. Çalışmada en iyi sınıflandırma sonucunun ise Destek vektör makinelerinden Fine Gaussian yönteminde olduğu bulunmuştur. Ayrıca standart sapma değerlerine bakılarak da bu değerlerin oldukça az olduğu görülmektedir. Bu da sistemin kararlı bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Geliştirilen algoritmanın tele-tıp uygulamaları için bir karar destek sistemi oluşturması hedeflenmiştir. Tele-tıp uygulamaları gerçek zamanlı uygulamalardır. Amaçları hastaya en kısa sürede müdahale olduğu için bu uygulamalarda zaman oldukça önemlidir. Çalışmada zaman konusu dikkate alınmış olup 3 temel süre dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu sürelerden birincisi EKG sinyallerinin tepe noktaları hesaplanırken geçen süre, ikincisi öznitelik

çıkarmasında geçen süre, üçüncüsü ise test için geçen zamandır. Çalışmada her bir R-R aralığı için öznelik çıkarma süresi yaklaşık olarak 0.93 saniyedir. Diğer süreler ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

Çalışmada süre hesaplaması yapılırken kullanılan bilgisayarın işlemcisi 64 bit Intel(R) Core (TM) i5 1.7 GHz, RAM 8 GB donanım özelliklerine sahiptir. Çalışmada kullanılan algoritma herhangi bir optimizasyon işlemine tabi tutulmamıştır ve Choi-Williams katsayılarında herhangi bir azaltmaya gidilmemiştir. Optimizasyon yöntemleri kullanılarak, Choi-Williams katsayıları azaltılarak ve algoritma C programlama dilinde yazılarak bu sürenin daha düşük seviyede olması sağlanabilir.

Çalışmada kullanılan EKG kayıtları bay-bayan farklı cinsiyetlerden ve farklı yaşlardaki insanlardan alınmıştır. Ayrıca farklı kişilerden binlerce EKG aralığı seçilmiştir. Tablo 1’deki sınıflandırma sonuçlarına bakıldığında farklı kişilerden elde edilen büyük bir verisetinde yüksek doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve pozitif prediktif değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Önerilen yöntem Tablo 2’de diğer çalışmalarla kıyaslandığında zaman, diğer çalışmalara göre daha büyük bir veri tabanı kullanıldığı görülmektedir. Önerilen yöntemin bir çok açıdan performans analizi yapılmış olup, performans sonuçları büyük bir veriseti kullanılmasına rağmen diğer çalışmalara göre oldukça yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 2’de önerilen yöntemle göre daha yüksek doğruluk elde eden çalışmaların ise kullandıkları verisetlerinin önerilen yöntemle göre daha az olduğu görülmektedir.

Yazar	Veritabanı	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	PPD (%)
[6]	MIT-BIH Aritmi veritabanı 48 EKG dosyası	-	89.95	92.91	-
[7]	MIT-BIH Aritmi veritabanı 5-10-15-20 ‘şer dakikalık kayıtların herbirinden 150 EKG kaydı	96.5	-	-	-
[9]	MIT-BIH Aritmi veritabanı.	100	100	100	-
[10]	MIT-BIH Aritmi Veritabanı 21467 RR aralığı	96.63	95.44	97.81	-
[11]	UCI veri tabanından 420 EKG örneği	87.71	86.72	88.38	-
Önerilen Yöntem	MIT-BIH aritmi veritabanı 103026 R-R aralığı	94.97	92.57	97.36	97.23

Tablo 2. Önerilen yöntemin diğer çalışmalarla kıyaslanması

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 1003 program kapsamındaki 114E452 nolu projeye TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Sağlık Bakanlığı, "Türkiye Kalp Ve Damar Hastalıkları Önleme ve Kontrol Programı (2015-2020)", Ankara (2015).
- [2] http://www.who.int/cardiovascular_diseases/en/
- [3] De Capua, Claudio, Antonella Meduri, and Rosario Morello. "A smart ECG measurement system based on web-service-oriented architecture for telemedicine applications." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 59.10 (2010): 2530-2538.
- [4] Mane, R. S., Cheeran, A. N., Awandekar, V. D., & Rani, P. (2013). Cardiac arrhythmia detection by ECG feature extraction. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3, 327-332. Dash, Sanjit K., and G. Sasibhusan Rao. "Arrhythmia Detection Using Wigner-Ville Distribution Based Neural Network." *Procedia Computer Science* 85 (2016): 806-811.
- [5] Tsipouras, Markos G., and Dimitrios I. Fotiadis. "Automatic arrhythmia detection based on time and time-frequency analysis of heart rate variability." *Computer methods and programs in biomedicine* 74.2 (2004): 95-108.
- [6] Vijayavanan, M., V. Rathikarani, and P. Dhanalakshmi. "Automatic Classification of ECG Signal for Heart Disease Diagnosis using morphological features." *Int. J. of Comput. Sci. and Eng. Technology (IJCSSET)* 5.4 (2014): 449-455.
- [7] Polat, Kemal, and Salih Güneş. "Detection of ECG Arrhythmia using a differential expert system approach based on principal component analysis and least square support vector machine." *Applied Mathematics and Computation* 186.1 (2007): 898-906.
- [8] Rai, Hari Mohan, Anurag Trivedi, and Shailja Shukla. "ECG signal processing for abnormalities detection using multi-resolution wavelet transform and Artificial Neural Network classifier." *Measurement* 46.9 (2013): 3238-3246.
- [9] Son, J., Park, J., Oh, H., Bhuiyan, M. Z. A., Hur, J., & Kang, K. (2017). Privacy-Preserving Electrocardiogram Monitoring for Intelligent Arrhythmia Detection. *Sensors*, 17(6), 1360.
- [10] Mitra, Malay, and R. K. Samanta. "Cardiac arrhythmia classification using neural networks with selected features." *Procedia Technology* 10 (2013): 76-84.
- [11] Dliou, A., Latif, R., Laaboubi, M., & Maoulainine, F. M. R. (2014). Abnormal ECG signals analysis using non-parametric time-frequency techniques. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(2), 913-921.
- [12] <http://physionet.org/physiobank/database/#ecg>.
- [13] Hlawatsch, F., Manickam, T. G., Urbanke, R. L., & Jones, W. (1995). Smoothed pseudo-Wigner distribution, Choi-Williams distribution, and cone-kernel representation: Ambiguity-domain analysis and experimental comparison. *Signal Processing*, 43(2), 149-168.
- [14] Akdeniz, F., Kayıkçıoğlu, İ., Kaya, İ., & Kayıkçıoğlu, T. (2016, December). Using Wigner-Ville distribution in ECG arrhythmia detection for telemedicine applications. In Telecommunications and Signal Processing (TSP), 2016 39th International Conference on (pp. 409-412). IEEE.