

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**

**UYARLAMALI FOURIER AYRIŞTIRMASI İLE İŞARET
GERİ ÇATIMI İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ KIRKBAŞ

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2017

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**



**UYARLAMALI FOURIER AYRIŞTIRMASI İLE İŞARET
GERİ ÇATIMI İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ KIRKBAŞ

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ali KIRKBAŞ tarafından hazırlanan “Uyarlamalı Fourier Ayırıştırması ile İşaret Çatımı için Yeni Yaklaşımlar ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 03.08.2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Dr. Aydın KIZILKAYA
Üye
Prof. Dr. Sezai TOKAT
Pamukkale Üniversitesi
Üye
Yrd. Doç. Dr. Mustafa Alper AKKAŞ
Abant İzzet Baysal Üniversitesi


.....

.....

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
09/08/2017 tarih ve 31/16..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


.....

Prof. Dr. UĞUR YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

ALİ KIRKBAŞ

ÖZET

UYARLAMALI FOURIER AYRIŞTIRMASI İLE İŞARET GERİ ÇATIMI İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ KIRKBAŞ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. AYDIN KIZILKAYA)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2017

Uyarlamalı Fourier Ayırıştırması (UFA), analitik bir işareti uyarlanabilen taban fonksiyonların doğrusal birleşimi şeklinde temsil edebilen yeni bir işaret ayırıştırma yöntemidir. UFA ile analitik bir işaret, enerjileri yüksekte alçağa sıralanacak şekilde temel bileşenlerine ayrıştırılır. UFA'nın her bir ayırıştırma adımında kullanılan taban fonksiyonları, aşırı tanımlı sözlük içerisinde en büyük iz düşüm ilkesine göre eşleme yapılarak belirlenir. Ayırıştırma işlemine, asıl işaret ile geri çatılan işaretin enerjileri arasındaki farkın mutlak değeri önceden belirlenen bir eşik değerinden küçük olana kadar devam edilir. Başlangıçta belirlenen bu eşik değeri ile aynı zamanda işaretin kaç adet temel bileşene ayrılacağı ile ilgili ayırıştırma seviyesi de dolaylı olarak belirlenmiş olur. Temel bileşenler ile işaretin mümkün olan en doğru şekilde temsili için başlangıçta tanımlanan sözlük ve toplam ayırıştırma seviyesi değerinin büyük olması gerekir. Ancak işlem karmaşıklığının artmasına neden olan bu gereklilikler, yöntemin uygulanabilirliğini kısıtlar. Bu tezde, ilk olarak UFA'nın uygulanabilirliği ile ilgili kısıtları hafifletmek amacıyla taban fonksiyonlarını oluşturan katsayı dizisini belirlemek için aşırı tanımlı bir sözlük kullanmak yerine birey temelli sezgi üstü bir en iyileme yöntemi olan Jaya'nın UFA ile bütünleştirilmesi önerilmiştir. Böylece aşırı tanımlı sözlük ve durdurma ölçütüne bağımlılık ortadan kaldırılmış en uygun ayırıştırma seviyesi otomatik olarak belirlenebilmiştir. İkinci olarak gürültü giderme sorunlarının çözümünde UFA temelli yaklaşımlar incelenmiş ve Beyaz Gauss gürültüsü (BGG) ile bozulmuş işaretlerden asıl işaretin geri çatımı için Jaya, UFA ve Savitzky-Golay (S-G) süzgecin birleştirilmesinden oluşturulan karma bir yaklaşım önerilmiştir. Gürültü enerjisinin asıl işaret enerjisinde az olduğu varsayımı altında, Jaya temelli UFA'nın her ayırıştırma adımında elde edilen temel bileşenlerin toplamına S-G süzgecinin uygulanmasıyla BGG ile bozulmuş işaretten asıl işaretin geri çatımı sağlanmıştır. Önerilen iki yaklaşımın başarımları, bilgisayar benzetim örnekleri ile çeşitli başarımlar ölçütleri üzerinden değerlendirilmiş ve mevcut çalışmalarla karşılaştırmalar yapılmıştır. Nitel ve nicel karşılaştırmalar, önerilen yaklaşımların tatmin edici sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Uyarlamalı Fourier ayırıştırması, Sezgi-üstü en iyileme, Jaya yöntemi, İşaret geri çatımı, Savitzky-Golay süzgeçleme, Beyaz Gauss gürültüsü

ABSTRACT

NEW APPROACHES FOR SIGNAL RECONSTRUCTION WITH ADAPTIVE FOURIER DECOMPOSITION

MSC THESIS

ALİ KIRKBAŞ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. AYDIN KIZILKAYA)

DENİZLİ, AUGUST 2017

Adaptive Fourier Decomposition (AFD) is a recently developed signal decomposition algorithm that can describe an analytical signal through a linear combination of adaptive basis functions. Using the AFD, an analytical signal can be decomposed into its mono-components (MCs) whose energies are ordered from high-to-low energy. At every decomposition level of the AFD, the basis function is determined by matching the basis in an over-complete dictionary based on maximum projection principle. The decomposition continues until the difference between the energies of the original and reconstructed signals is to be less than a predefined tolerance value. At the same time, total decomposition level related to the MCs is relatively determined with the tolerance value defined initially. To represent the most accurate description of the signal, the AFD requires a large number of decomposition levels and large dictionary. However, these requirements cause increase in the computational complexity which limits the applicability of the AFD.

In the first part of this thesis, we propose to combine AFD with Jaya optimization algorithm for determining coefficients that create basis functions for alleviating restrictions on applicability of AFD. Thus dependence on the over-complete dictionary and tolerance value for stopping decomposition is eliminated. Furthermore, it enables to determine the decomposition level of the AFD automatically.

In the second part of this thesis, signal denoising based on the adaptive Fourier decomposition (AFD) is investigated and an approach, termed Jaya-based AFD combined with Savitzky-Golay filter, is offered to reconstruct the original signal under white Gaussian noise (WGN) interference. Under the assumption of the signal-to-noise ratios greater than zero, Savitzky-Golay filtering is then applied to the summation of MCs obtained in every decomposition level of the noisy signal in the UFA-Jaya approach. We evaluate the performance of two proposed approaches through computer simulations over the various performance criteria and compare their performance with the existing methods. Qualitative and quantitative comparisons show that the proposed approach provides satisfactory results.

KEYWORDS: Adaptive Fourier decomposition (AFD), Meta-heuristic optimization, Jaya algorithm, Signal reconstruction, Savitzky-Golay filter, White Gaussian noise

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. FOURIER SERİSİ AÇILIMI VE FOURIER DÖNÜŞÜMÜ	4
2.1 Fourier Serisi Açılımı	4
2.2 Fourier Dönüşümü	6
3. EN İYİLEME YÖNTEMLERİ.....	10
3.1 Jaya En İyileme Yöntemi.....	11
4. UYARLAMALI FOURIER AYRIŞTIRMASI.....	13
4.1 Temel Bileşen Kavramı	13
4.2 Eşleşme Takip Yöntemi	13
4.3 Uyarlamalı Fourier Ayırıştırmasının Sistematiği.....	14
5. ÖNERİLEN YAKLAŞIMLAR	18
5.1 UFA-Jaya Temelinde İşaret Geri Çatımı	18
5.2 Gürültünün Varlığında UFA-Jaya Temelinde İşaret Geri Çatımı.....	21
6. BENZETİM SONUÇLARI	24
6.1 UFA-Jaya Yaklaşımı ile Elde Edilen Sonuçlar.....	25
6.2 S-G Süzgeçleme ile Birleştirilmiş UFA-Jaya Yaklaşımı ile Elde Edilen Sonuçlar.....	30
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	34
8. KAYNAKLAR.....	35
9. ÖZGEÇMİŞ	38

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Işığın frekanslarına ayrıştırılması	4
Şekil 2.2: Üç farklı frekans ile modüle edilmiş şebeke gerilimi işareti	5
Şekil 2.3: Şebeke gerilimi işaretinin 6-8, 10, 12-14. Harmoniklerinin değişimi	6
Şekil 3.1: Jaya en iyileme algoritmasının akış şeması	12
Şekil 4.1: T-M taban fonksiyonlarının tanımlanmasında gerekli olan katsayılara karşı düşen aday noktaları içerisinde barındıran kullanıcı tanımlı sözlük	15
Şekil 6.1: $N = 2000$ örneklı $s(n) = \cos(2\pi n/N)^2$ işareti için birbirinden bağımsız 50 program koşumu ile elde edilen en uygun toplam ayrıştırma seviyeleri	26
Şekil 6.2: Ses işareti için birbirinden bağımsız 50 program koşumu ile elde edilen en uygun toplam ayrıştırma seviyeleri	26
Şekil 6.3: Şekil 6.1’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden $N = 2000$ örneklı $s(n) = \cos(2\pi n/N)^2$ işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılmasında harcanan süreler.....	27
Şekil 6.4: Şekil 6.2’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden ses işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılmasında harcanan süreler.....	27
Şekil 6.5: Şekil 6.1’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden $N = 2000$ örneklı $s(n) = \cos(2\pi n/N)^2$ işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılması neticesinde elde edilen işaret geri çatımları için OKH değerleri ...	28
Şekil 6.6: Şekil 6.1’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden $N = 2000$ örneklı $s(n) = \cos(2\pi n/N)^2$ işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılması neticesinde elde edilen işaret geri çatımları için EO değerleri.....	28
Şekil 6.7: Şekil 6.2’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden ses işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılması neticesinde elde edilen işaret geri çatımları için OKH değerleri	29
Şekil 6.8: Şekil 6.2’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden ses işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılması neticesinde elde edilen işaret geri çatımları için EO değerleri	29
Şekil 6.9: Ses işaretine ilişkin benzetim sonuçları: (a) Gürültüsüz ses işareti, (b) $SNR = 5$ dB olacak şekilde ses işaretine eklenen BGG, (c) Gürültülü ses işaretinden Wang (2016) yöntemi ile geri çatılan gürültüsüz ses işareti, (d) Wang (2016) yöntemine dayalı olarak geri çatılan ses işareti ile asıl işaret arasındaki farkın mutlak değerine karşı düşen hata işareti, (e) Önerilen yöntemeye dayalı olarak geri çatılan gürültüsüz ses işareti, (f) Önerilen yöntemeye dayalı olarak geri çatılan ses işareti ile asıl işaret arasındaki farkın mutlak değerine karşı düşen hata işareti	31

Şekil 6.10: Ses işareti için birbirinden bağımsız 50 program koşumu ile yöntemlerin ürettiği işaret geri çatımları için OKH ve İHO değerleri.....	32
Şekil 6.11: EKG işaretine ilişkin benzetim sonuçları: (a) Gürültüsüz işaret, (b) $SNR = 5$ dB olacak şekilde EKG işaretine eklenen BGG, (c) Gürültülü EKG işaretinden Wang (2016) yöntemi ile geri çatılan gürültüsüz EKG işareti, (d) Wang (2016) yöntemine dayalı olarak geri çatılan EKG işareti ile asıl işaret arasındaki farkın mutlak değerine karşı düşen hata işareti, (e) Önerilen yöntemine dayalı olarak geri çatılan gürültüsüz EKG işareti, (f) Önerilen yöntemine dayalı olarak geri çatılan EKG işareti ile asıl işaret arasındaki farkın mutlak değerine karşı düşen hata işareti	33
Şekil 6.12: EKG işareti için birbirinden bağımsız 50 program koşumu ile yöntemlerin ürettiği işaret geri çatımları için OKH ve İHO değerleri	33

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.1: UFA-Jaya Yaklaşımının İşlem Adımları	19
Tablo 5.2: UFA-Jaya Yaklaşımında Kullanılan Jaya Yordamının İşlem Adımları.....	20
Tablo 5.3: S-G Süzgeçleme ile Birleştirilen UFA-Jaya Yaklaşımının İşlem Adımları.....	23

SEMBOL LİSTESİ

d_k	: k . temel bileşen
R_M	: M . ayrıştırma seviyesindeki standart hata
$B_k(e^{j2\pi n/N})$: k . taban fonksiyonu
c_k	: k . taban fonksiyonun ağırlık katsayısı
$e_a(e^{j2\pi n/N})$: Değerlendirme fonksiyonu
$J(a)$: a katsayısı için tanımlanan amaç fonksiyonu
$z_{m,p}^y$: Jaya yönteminde, m . adayın p . değişkeni için yeni bireyi
z^{ei}	: En iyi sonuç veren birey
z^{ek}	: En kötü sonuç veren birey
err_i	: i . ayrıştırmada elde edilen enerjilerin farkı hatası

KISALTMALAR LİSTESİ

UFA	:	Uyarlamalı Fourier Ayrıştırması
T-M	:	Takenaka-Malmquist
OKH	:	Ortalama Kareysel Hata
EO	:	Enerji Oranı
İHO	:	İşaret Hata Oranı
BGG	:	Beyaz Gauss Gürültüsü
S-G	:	Savitzky-Golay
GKA	:	Görgül Kip Ayrıştırması
TB	:	Temel Bileşen
ÖK	:	Özkip
FD	:	Fourier Dönüşümü
HD	:	Hilbert Dönüşümü
ET	:	Eşleme Takip
EKG	:	Elektrokardiogram
N-M	:	Nelder-Mead

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında baştan sona bilgi, deneyim ve güvenini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Aydın Kızılkaya ile bu zorlu süreçte kendilerine ayrılması gereken zamanlarından feragat edip desteklerini esirgemeyen eşim Ayşe Gül ve oğlum Cengiz Aydın'a teşekkürlerimi sunarım. Başta Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Ceyhun Karpuz olmak üzere tüm bölüm çalışanlarımız ile manevi desteğini her zaman hissettiğim çalışma arkadaşım Mehmet Doğan Elbi'ye teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Mühendislik sistemlerinde bir olayın sebebi ya da bir eylemin sonucu olarak ortaya çıkan işaretler, sistem hakkındaki karmaşık bilgileri içerisinde barındırırlar. Bu bilgilerin arasından daha anlaşılabilir bilgiler elde edebilmek için işaretlerin işlenerek daha basit bileşenlerin toplamı şekline dönüştürülmesi gerekir. Bu bileşenler, araştırmacılar tarafından sınıflandırma, süzgeçleme, gürültü giderme ve öznelilik çıkarma gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Mevcut bilimsel çalışmalarda onlarca dönüşüm yöntemi olmasına rağmen önerilen yeni yaklaşım ve yöntemler bu konunun güncel kalmasını sağlamaktadır.

Gerçek dünya işaretleri doğası gereği durağan ve doğrusal olmadıklarından dolayı, bu işaretlerin işlenmesinde kullanılacak olan yöntemlerin bu işaretlere uygun olması gerekir. Huang (1998) tarafından geliştirilen Görgül Kip Ayırıştırması (GKA) doğrusal ve durağan olmayan işaretlerin analizinde kullanılabilir eldeki veriye dayalı sonuç üreten yöntemlerdir birisidir. GKA yöntemi ile giriş işareti yüksek frekanstan alçak frekansa doğru sıralanan, Öz Kip (ÖK) işlevleri adı verilen bileşenler ile monoton olan artık işaret bileşenine ayırıştırır (Huang ve diğ. 1996; Huang ve diğ. 1998). Her türlü işarete uygulanabilen GKA yönteminin ürettiği ÖK'ler birçok araştırmacı tarafından gürültü giderme sorunlarının çözümünde kullanılmıştır (Kizilkaya ve diğ. 2016; Kizilkaya ve Elbi 2017). Fakat GKA yönteminin en büyük eksikliği matematiksel formda kapalı bir ifadesinin olmayışıdır. Bu eksiklikten esinlenen Qian ve diğ. (2011) doğrusal ve durağan olmayan işaretlere de uygulanabilen, kanıtlanmış matematiksel çıkarımlara sahip Uyarlamalı Fourier Ayırıştırması (UFA) yöntemini önermişlerdir.

Geleneksel Fourier ayırıştırmasının genel bir hali olan UFA ile analitik işaretler, enerjileri yüksekten alçağa sıralanan temel bileşen (TB) işaretleri ile ayırıştırma hatasına karşılık gelen artık işarete ayırıştırılabilir (Qian ve diğ. 2009). Artık işaret ile TB işaretlerin toplamı asıl işareti tam olarak sağlar. TB kavramı, negatif olmayan anlık frekansa sahip karmaşık değerli işaretler olarak tanımlanır (Qian ve diğ. 2009). UFA yöntemi, geleneksel Fourier dönüşümünün kullandığı sabit

sinüzoidal tabanların aksine Takenaka-Malmquist (T-M) sistemler adı verilen rasyonel yapıdaki dik sistemlerin çarpılmasıyla üretilen taban fonksiyonlarını kullanır (Qian ve diğ. 2011). Bir katsayı dizisine bağımlı olan T-M sistemler, ilk katsayının sıfır alınması durumunda TB olma koşulunu garanti eder. T-M taban sistemleri oluşturan katsayılar, verilen işarete göre birim çember içerisinde en büyük iz düşüm (EBİD) ilkesi ile adım adım belirlenir. UFA yönteminde, maksimum eşleme yöntemine benzer şekilde ayrıştırmaya başlamadan önce birim çember içerisindeki olası her nokta için olası tüm taban fonksiyonları barından aşırı-tanımlı sözlük oluşturulur (Mallat ve Zhang 1993). Ayrıştırmanın her adımında verilen işaret ile sözlük içerisindeki tabanlar arasında korelasyonu en büyük yapan taban fonksiyonu EBİD ile belirlenir. Bu nedenle aşırı-tanımlı sözlüğün olabildiğince fazla taban içermesi ayrıştırmanın doğruluğunu artıracaktır. UFA yönteminde ayrıştırma işlemi, kullanıcı tarafından belirlenen iterasyon sayısına ya da asıl işaret ile geri çatılan işaretin enerjilerinin farkının başlangıçta belirlenen bir eşik değerinin altına düşünceye kadar devam eder. Sonuç olarak, işaretin UFA ile olabildiğince doğru temsil edilebilmesi için ayrıştırma işleminin ya çok küçük bir eşik değerine ya da başlangıçta belirlenen yüksek bir iterasyon sayısına kadar devam ettirilmesi gerekir. Ancak bu durum, hesapsal karmaşıklığın artmasına neden olacak ve yöntemin uygulanabilirliğini kısıtlayacaktır.

Uyarlamalı taban fonksiyonların belirlenmesi, UFA yönteminin en önemli kısmını oluşturur. Kuramsal olarak sürekli zamanlı karmaşık fonksiyonlar üzerine temellendirilen yöntem, uygulamalarda bir takım problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. T-M sistemi oluşturan katsayıların birim çember içerisinde ızgara yöntemi ile aranması UFA'nın yakınsama hızını ve doğruluğu azaltan sorunlardan birisidir. Bu nedenle UFA'nın yakınsama hızını artırmak için taban katsayılarının aranmasında Nelder-Mead (N-M) en iyileme yönteminin kullanılmasına dayanan bir yaklaşım önerilmiştir (Wang ve diğ. 2015). Önerilen yaklaşım işlem süresini kısaltmasına rağmen, taban fonksiyonları için bulunan karmaşık değerli katsayılar en uygun katsayılar olmayabilir çünkü N-M yönteminin iyi sonuç üretebilmesi ancak ve ancak başlangıç koşullarının amaç fonksiyonunun çözümüne yakın olmasına bağlıdır. Aksi durumda, amaç fonksiyonunun çözümüne yakınması için çok büyük iterasyon sayısına ihtiyaç vardır. Bu ise UFA'nın istenilmeyen bir adımda sonlandırılmasına ve de hesapsal karmaşıklığın artmasına neden olur.

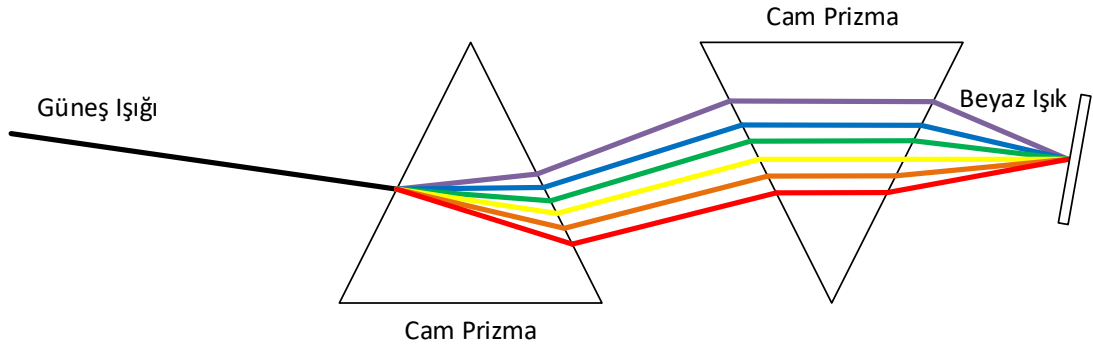
UFA, enerji tabanlı ayrıştırma yöntemi olduğundan dolayı, ancak ve ancak gürültü enerjisinin işaret enerjisinden küçük olduğu durumlarda gürültü süzme uygulamaları için elverişlidir. Bu düşünce ışığında Zhang (2014) ve Wang (2014), işarete karışan gürültünün düşük enerjili TB'lerde toplanacağını, asıl işaretin geri çatımında kullanılacak TB'lerin bilinmesiyle gürültünün süzölebileceğini belirtmişlerdir. Fakat bu yöntemlerdeki en büyük eksiklik, işareti temsil eden TB'ler ile gürültüye karşılık gelen TB'ler arasındaki ayırımın yapılmasında gürültüsüz (asıl) işarete ya da gürültüye ilişkin saf bilgiye ihtiyaç duyulmasıdır.

Özet olarak UFA temelinde işaret gösterimi ve geri çatımı ile ilintili mevcut sorunlar, TB'lerin belirlenmesinde başlangıçta aşırı sözlük tanımlanmasının gerekliliği ile gürültünün varlığı durumunda UFA yönteminin kullanımınıdır. Bu sorunların çözümüne katkıda bulunmak amacıyla bu tezde iki yaklaşım önerilmiştir. Birinci yaklaşımda, UFA'nın belkemiğini oluşturan en uygun taban fonksiyonlarının hızlı bir biçimde bulunması amaçlanmıştır. Bunun için Rao (2016) tarafından önerilen Jaya en iyileme yönteminin UFA ile bütünleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca UFA-Jaya olarak adlandırılan bu yaklaşım ile en uygun ayrıştırma seviyesinin otomatik olarak bulunması sağlanmıştır. İkinci olarak UFA-Jaya yaklaşımı ile Savitzky-Golay (S-G) süzgeçleme birleştirilerek UFA temelinde gürültü giderme sorununun çözümü için bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın gürültü giderme başarımını değerlendirmek için yapay ve gerçek dünya işaretleri üzerinden benzetimler yapılmış ve elde edilen sonuçlar mevcut yöntemlerin ürettikleri ile çeşitli başarımlar ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Nitel ve nicel bulgular, gürültünün varlığında asıl işaretin geri çatımında, önerilen yaklaşımın mevcut yöntemlere (Zhang 2014; Wang 2014) göre daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Tezin ikinci bölümünde, UFA'nın özel bir hali olan Fourier dönüşümü ile ilgili temel bilgilere yer verilmiştir. Tezin üçüncü bölümü, sezgi üstü en iyileme yöntemi olan Jaya'nın tanıtımına ayrılmıştır. Dördüncü bölümde, UFA'nın matematiğine yer verilmiştir. Beşinci bölümde önerilen yaklaşımlardan bahsedilmiştir. Önerilen yaklaşımların işaret geri çatım başarımlarının değerlendirmesi için gerçekleştirilen bilgisayar benzetimlerine altıncı bölümde yer verilmiştir. Yedinci bölümde ise genel bir değerlendirme yapılarak gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. FOURIER SERİSİ AÇILIMI VE FOURIER DÖNÜŞÜMÜ

Beyaz ışık bir prizmadan geçirildiğinde gökkuşağında olduğu gibi altı farklı renkte ışığa ayrıştırılır. Bu prizmanın ortaya çıkardığı renklerin sürekli bantlarına spektrum adı verilir (Proakis ve Manolakis 2010). Ortaya çıkan bu farklı renkteki ışıkların Şekil 2.1’de gösterildiği gibi aynı tipteki ters konumlanmış bir prizmadan geçirilmesi durumunda tekrar beyaz renkte ışığın elde edilebileceği, 16. yüzyılda Isaac Newton tarafından yayınlanan bir makalede bildirilmiştir (Proakis ve Manolakis 2010). İnsan gözü ile algılanan ışığın farklı her rengi, esas itibariyle farklı frekans aralıklarına karşılık gelir. Bu nedenle prizmanın gerçekleştirmiş olduğu ayrıştırma, aslında bir çeşit frekans ayrıştırmasıdır (Proakis ve Manolakis 2010).



Şekil 2.1: Işığın frekanslarına ayrıştırılması

2.1 Fourier Serisi Açılımı

Işığın frekanslarına ayrıştırılmasına benzer şekilde işaretlerin de frekanslarına ayrıştırılması 18. yüzyılda Fransız matematikçi Fourier tarafından keşfedilmiştir. Fourier, ısının cisimler üzerindeki davranış problemlerinin çözümünü araştırırken, işaretleri sinüzoidal bileşenlerine ayrıştıran matematiksel bir yöntem geliştirmiştir. Fourier serisi açılımı adı verilen bu yöntem; herhangi bir periyodik işaretin, sonsuz sayıda farklı frekanstaki trigonometrik fonksiyonların ağırlıklandırılmış toplamı şeklinde temsil edilebileceğiyle ilgilidir. (Proakis ve Manolakis 2010). Bu temsil şekli aynı zamanda işaretlerin frekans ayrıştırması olarak adlandırılır ve matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

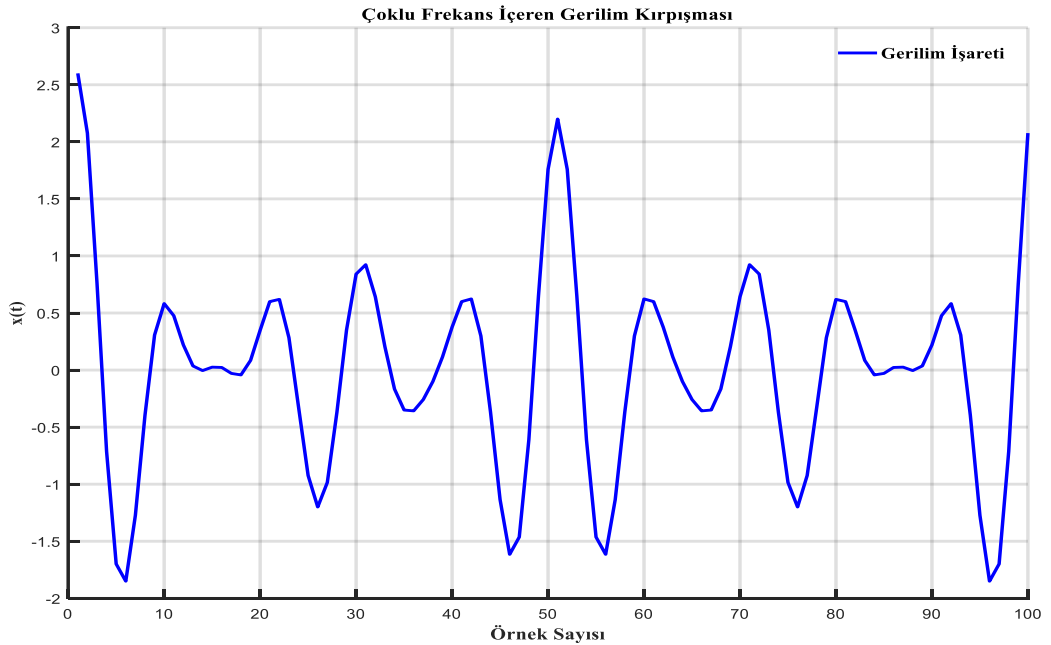
$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k [\cos(k2\pi f_0 t) + j\sin(k2\pi f_0 t)] \quad (2.1)$$

Burada f_0 , periyodik işaretin temel frekansı olup $T_p = 1/f_0$ ise işaretin temel periyodunu ifade eder.

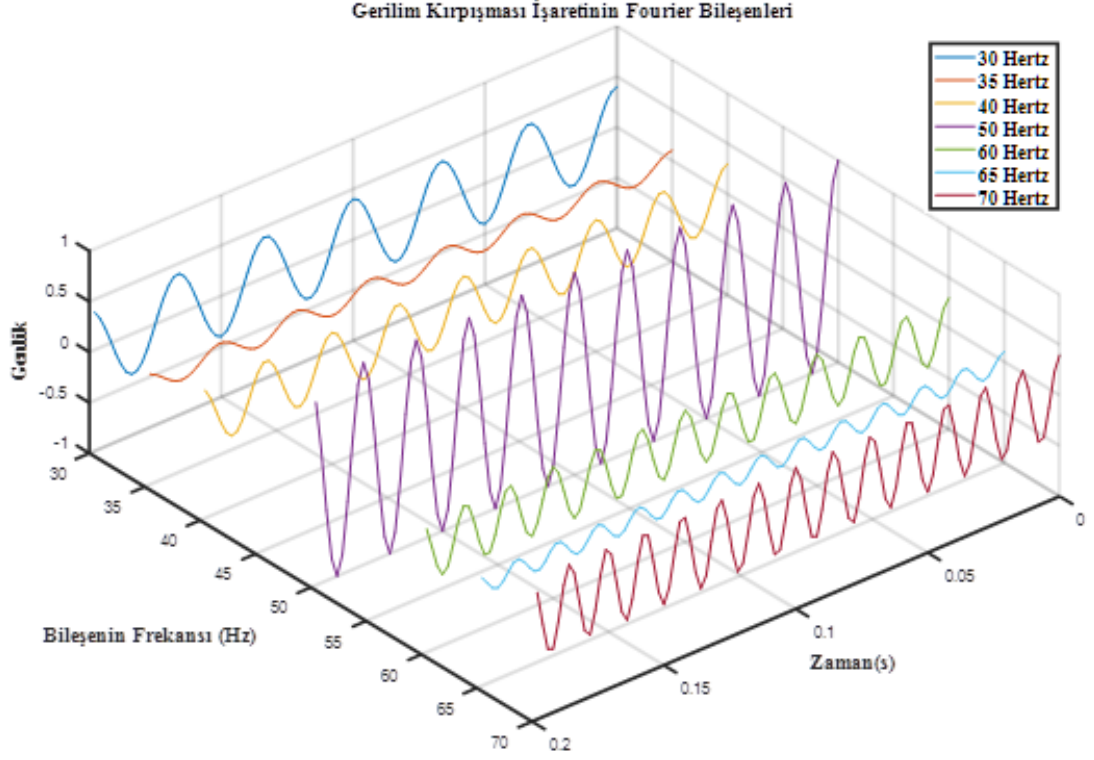
Eşitlik (2.1)'den görüldüğü üzere periyodik $x(t)$ işareti, her birinin frekansı kf_0 olan sonsuz adet harmoniğin c_k katsayıları ile ağırlıklandırılmışlarının toplamı biçiminde ifade edilebilir. Bu ağırlık katsayılarına üstel Fourier serisi (ÜFS) katsayıları adı verilir ve

$$c_k = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} x(t) e^{-jk2\pi f_0 t} dt \quad (2.2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Periyodik $x(t)$ işareti için tanımlanan (2.1) ve (2.2) eşitlikleri sırasıyla sentez ve analiz denklem çifti olarak adlandırılır. Örneğin değişimi Şekil 2.2 verilen üç farklı frekansa sahip sinüzoidal işaret ile modüle edilmiş şebeke gerilimi işareti $x(t) = [1 + 0.6 \cos(20\pi t) + 0.2 \cos(30\pi t) + 0.8 \cos(40\pi t)] \cos(100\pi t)$ için 6-8, 10, 12-14. harmoniklerinin değişimi Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Üç farklı frekans ile modüle edilmiş şebeke gerilimi işareti



Şekil 2.3: Şebeke gerilimi işaretinin 6-8, 10, 12-14. harmoniklerinin değişimi

Periyodik bir $x(t)$ işaretinin Fourier serisi açılımı her zaman $x(t)$ işaretine yakınsamayabilir. Fourier serisi açılımının yakınsaması için gerekli koşullar *Dirichlet şartları* olarak adlandırılan aşağıdaki üç madde ile özetlenebilir (Proakis ve Manolakis 2010):

1. $x(t)$ işareti herhangi bir periyot içerisinde sonlu sayıda süreksizliğe sahip olmalıdır.
2. $x(t)$ işareti, herhangi bir periyod içerisinde sonlu sayıda en büyük ve en küçük değerlere sahip olması gerekir.
3. $x(t)$ işareti ile ilgili olarak, herhangi bir periyod için $\int |x(t)| dt$ integrali sonlu bir değere sahip olmalıdır.

2.2 Fourier Dönüşümü

Fourier serisi açılımından farklı olarak Fourier Dönüşümü (FD), enerji işaretlerinin frekans bölgesi gösterimi için kullanılan bir işaret dönüşüm biçimidir ve işaret ile ilgili olarak frekansın sürekli bir işlevi olan gösterim sunar:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (2.3)$$

Burada $\omega = 2\pi f$ rad/sn ile açısal frekans olup $x(t)$ 'nin Fourier dönüşümünü tanımlayan $X(\omega)$,

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2.4)$$

eşitliği ile hesaplanır. Genel olarak (2.4) eşitliği, frekansın işlevi olan karmaşık değerli bir işaret ürettiğinden dolayı genlik ve faz bilgisini içerir. $x(t)$ işaretinin geri çatımında kullanılacak olan karmaşık değerli sinüzoidal fonksiyonların her bir frekansı için genlik bilgisi,

$$|X(\omega)| = \sqrt{Re\{X(\omega)\}^2 + Im\{X(\omega)\}^2} \quad (2.5)$$

ile hesaplanır. Bununla birlikte her bir bileşenin referans zamandan gecikme miktarını belirten faz bilgisi ise

$$\theta(\omega) = \tan^{-1} \left(\frac{Im\{X(\omega)\}}{Re\{X(\omega)\}} \right) \quad (2.6)$$

ile hesaplanır. Sonuç olarak FD, işaretler hakkında faz ve genlik bilgisiyle beraber frekans bilgisini de temin eder. FD'nin bazı temel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Doğrusallık

FD, doğrusal bir işaret dönüşüm biçimidir. Bu sebeple, $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ gibi iki enerji işaretinin FD'leri $X_1(\omega) = \mathcal{F}\{x_1(t)\}$ ve $X_2(\omega) = \mathcal{F}\{x_2(t)\}$ olmak üzere herhangi a_1 ve a_2 katsayıları için doğrusal bir dönüşüm biçimi olmanın gerektirdiği aşağıdaki eşitlik sağlanır:

$$\mathcal{F}\{a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t)\} = a_1 X_1(\omega) + a_2 X_2(\omega) \quad (2.7)$$

2. Zamanda Öteleme

Zaman bölgesinde $x(t)$ işaretinin $x(t - t_0)$ ile t_0 kadar ötelenmesi, işaretin frekans bölgesi gösteriminde t_0 ile orantılı bir faz kaymasının oluşmasına neden olur:

$$\mathcal{F}\{x(t - t_0)\} = X(\omega)e^{-j\omega t_0} \quad (2.8)$$

Bu özellik, doğrusal-zamanla değişmeyen (DZD) sistemlerin tasarım ve analizinde kullanılan en önemli özelliktir. Çünkü DZD sistemler doğrusal olduklarından dolayı girişine uygulanan işaretlerin sadece genliğini ve fazını değiştirirler.

3. Zaman-Frekans Ölçekleme

Zaman bölgesinde sırasıyla kısa ve uzun süreli işaretlerin frekans içeriği frekans bölgesinde sırasıyla geniş ve dar bir frekans bandında toplanır. Bu gerçek aşağıdaki eşitlik ile sağlanır:

$$\mathcal{F}\{x(at)\} = \frac{1}{|a|} X\left(\frac{\omega}{a}\right) \quad (2.9)$$

4. Zamanda Türev Alma

Zaman bölgesinde türev alma işlemi, frekans bölgesinde işaret frekans bileşenlerinin frekans değişkeni ω ile çarpılmasına karşılık gelir.

$$\mathcal{F}\left\{\frac{dx(t)}{dt}\right\} = j\omega X(\omega) \quad (2.10)$$

Sonuç olarak, türev alma işlemi aslında işaretin yüksek geçiren süzgeçlemesi olarak yorumlanabilir. Çünkü azalan frekans değerlerinde işaret frekans içeriği çarpma ile zayıflatılıp yükselen frekans değerlerinde frekans içeriği kuvvetlendirilecektir.

5. Konvolüsyon

$x(t)$ ve $y(t)$ işaretlerinin konvolüsyonu, zaman bölgesinde

$$x(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)h(t - \tau) d\tau \quad (2.11)$$

ile hesaplanır. Bu hesaplama sonucu aynı zamanda, girişi $x(t)$ ve darbe cevabı $h(t)$ olan DZD sistemin zaman bölgesindeki çıkışına karşı düşer. İki işaretin konvolüsyonunun frekans bölgesi gösterimi ise işaretlerin ayrı ayrı Fourier dönüşümlerinin çarpımlarına karşı düşer.

$$\mathcal{F}\{x(t) * y(t)\} = X(\omega)Y(\omega) \quad (2.12)$$

Böylece zaman bölgesindeki işaretlerin konvolüsyonu, frekans bölgesinde hesaplanıp ters Fourier dönüşümü ile de kolayca elde edilebilir (Proakis ve Manolakis 2010).

Yukarıda bahsedilen özelliklere çerçevesinde FD birçok işaret için uygulanması kolay ve etkili bir yöntem olmasına rağmen, üç önemli eksik yanı bulunmaktadır. Bunlardan ilki, frekans bölgesine taşınan asıl işarete ait zaman bilgisinin kaybedilmesidir. İkinci eksiklik ise geç yakınsama problemidir. FD hesaplanırken tüm frekans bölgesi tarandığı için bazı işaretlerde katkı sağlayan ana bileşenin ilerleyen frekanslarda ortaya çıkması söz konusu olabilir. Son olarak, FD zaman bölgesini bir bütün olarak değerlendirdiği için, işaretin yüksek frekanslı bileşenlerdeki yerel değişimleri yakalamakta zorlanır. Gerçek dünya işaretlerinin hemen hepsi durağan ve doğrusal olmadığı için, mevcut haliyle FD bu tip işaretleri barındıran problemlerin çözümüne cevap verememektedir. Bu nedenle uyarlanabilir ayrıştırma ve zaman-sıklık analizi yöntemleri geliştirilmeye devam etmektedir (Wang 2014).

3. EN İYİLEME YÖNTEMLERİ

Mühendislik uygulamalarının en iyilenmesi problemi, son yıllarda birçok araştırmacının dikkatini çeken güncel konular arasında gelmektedir. Bu problemlerin etkili ve hızlı çözümü için, gerek kuramsal gerekse işlem temelli yöntemler önerilmeye devam edilmektedir. Şimdiye kadar yapılan bilimsel çalışmalarda en iyileme yöntemleri temel olarak deterministik ve sezgisel olarak iki gruba ayrılabilir. Doğrusal ve doğrusal olmayan programlama, deterministik yaklaşımlara verilebilecek örnekler olup en iyileme problemlerin bütünsel ya da yaklaşık bütünsel çözümünde kullanılacak araçlardır (Lin ve diğ. 2012). Fakat deterministik yaklaşımlar, büyük ölçekli problemlerin bütünsel çözümünün elde edilmesinde daha fazla işlem süresi gerektirir. Sezgisel yöntemler, deterministik yöntemlere göre daha verimli ve esnek yöntemler olup belirli bir çözüm aralığında sonuç üretirler. Sezgisel yöntemler, problem çözümündeki süreyi kısaltırsalar da elde edilecek olan çözümün her zaman bütünsel olmasını garanti etmezler.

Genetik algoritma (Goldberg 1989), Parçacık sürü en iyilemesi (Kennedy ve Eberhart 1995), Yapay arı kolonisi (Karaboğa 2005), Karınca koloni en iyilemesi (Dorigo ve Stutzle 2005), Harmoni araması (Lee ve Geem 2004) gibi yöntemler, mühendislik ve kısıtlı en iyileme problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan sezgisel yöntemlere verilebilecek örneklerden bazılarıdır. Hâlihazırdaki bu yöntemlerin en büyük eksiklikleri, yöntemin başarımını etkileyen yönteme özel ayar parametreleri gerektirmeleridir. Örneğin genetik algoritma, kendine has çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı, seçim operatörü gibi özel ayarlanması gereken parametrelere sahiptir. Benzer şekilde, parçacık sürü en iyileme yönteminde ise atalet katsayısı, öğrenme faktörleri ve sosyal faktörler gibi genel parametrelere ek olarak özel parametreler de yer almaktadır. Zaman gerektiren özel parametrelerin doğru ayarlanması, yöntemin başarımını büyük ölçüde etkiler.

Rao tarafından 2016 yılında önerilen Jaya algoritması, birey temelli, yüksek başarılı ve sezgi üstü bir en iyileme yöntemidir. Bu yöntemi diğer yöntemlerden farklı kılan en büyük özellik, nüfus büyüklüğü ve en büyük iterasyon sayısı dışında özel ayar parametreleri gerektirmemesidir. Bununla birlikte yöntemin yüksek

yakınsama hızı, gerçekleştirme kolaylığı ve başarımı, kısıtlı ve kısıtsız en iyileme problemlerinin karşılaştırmalı çözüm testlerinde kanıtlanmıştır (Rao 2016). Bu üstünlüklerini göz önünde bulundurarak tezde, UFA'nın bel kemiğini oluşturan taban fonksiyonlarının tanımlanması için gerekli olan katsayıların belirlenmesi aşamasında Jaya en iyileme yönteminin kullanımı tercih edilmiştir.

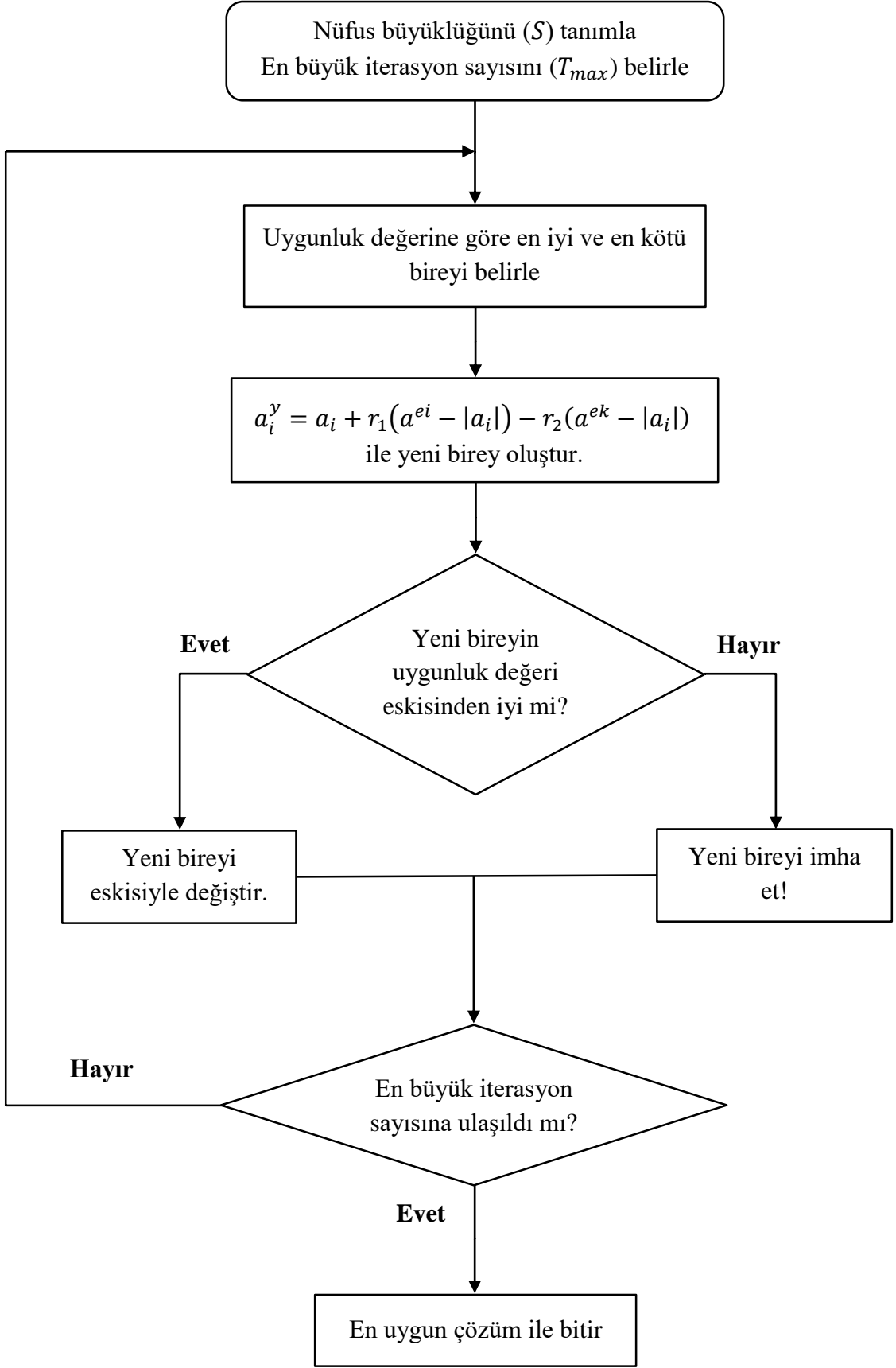
3.1 Jaya En İyileme Yöntemi

Birey temelli sezgi üstü en iyileme yöntemi olan Jaya, amaç fonksiyonunun çözüm uzayı sınırları içerisinde nüfus büyüklüğü kadar rasgele yerleştirilmiş bireyler oluşturur ve her bir bireyin uygunluk değerine göre en iyi ve en kötü bireyleri seçer. Ardından tüm bireyleri rasgele hızlarda en iyi çözümü elde eden bireye yaklaştırırken, en kötü çözümü elde eden bireyden uzaklaştırarak yeni konumunu aday olarak belirler. Bu adayın elde edeceği çözüm bireyin hali hazırdaki çözümünden iyiyse, bireyi aday konumuna taşır. Aksi durumda konumu güncellenmiş adayı yok eder. Tüm bireylerin durumuna karar verildikten sonra yeniden en iyi ve en kötü çözümü veren bireyler işaretlenir ve yeni adaylar belirlenir. Bu süreç, tüm bireyler en iyi noktadan hareket edemez hale gelene kadar veya kullanıcı tarafından girilen maksimum iterasyon değerine ulaşılan kadar devam eder.

i değişkeni iterasyon adımını göstermek üzere, Jaya algoritmasında kullanılan katsayı güncelleme denklemi

$$a_i^y = a_i + r_1(a^{ei} - |a_i|) - r_2(a^{ek} - |a_i|) \quad (3.1)$$

ile ifade edilirken yöntemin çalışma mantığını gösteren akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir. Burada r_1 ve r_2 değişkenleri, değerlerini (0, 1) aralığında alan düzgün dağılımlı olasılık fonksiyonunun herhangi bir değerini ifade ederken; a_i^y yeni oluşturulacak olan bireyi, a^{ei} en iyi bireyi ve a^{ek} ise en kötü bireyi temsil eder. Eşitlik (3.1), en iyileme probleminin tasarımındaki tüm değişkenler için bağımsız olarak çalıştırılır (Rao 2016).



Şekil 3.1: Jaya en iyileme algoritmasının akış şeması

4. UYARLAMALI FOURIER AYRIŞTIRMASI

4.1 Temel Bileşen Kavramı

Temel bileşen (TB) ya da çoklu bileşen kavramı işaret analizi alanında köklü bir geçmişe sahiptir (Cohen 1995). Bilimsel yazınlardaki yaygın görüşe göre bir analitik işaret ya da analitik işaretin gerçek kısmı, negatif olmayan faz türevine ya da negatif olmayan anlık frekansa sahip ise TB olarak tanımlanır. Buna göre, $1 \leq p < \infty$ olmak üzere eğer gerçek değerli $f(t) = \rho(t)\cos(\varphi(t)) \in L^p(R)$ işaretinin ölçülebilir fonksiyonları olan $\rho(t)$, $\varphi(t)$

$$H\{\rho(t)\cos[\varphi(t)]\} = \rho(t)\sin[\varphi(t)] \quad (4.1)$$

$$\rho(t) \geq 0 \quad (4.2)$$

$$\frac{d}{dt}\varphi(t) \geq 0 \quad (4.3)$$

koşullarını sağlıyorsa gerçek değerli $f(t)$ işareti TB olarak tanımlanır (Qian 2005). Burada $H\{\cdot\}$, Hilbert dönüşümünü L ise Hilbert uzayını temsil eder (Qian 2006).

4.2 Eşleşme Takip Yöntemi

Eşleme takip (ET) yöntemi; verilen bir $f(t)$ işaretini, bulunduğu uzayı geren birim normlu aşırı tanımlı sözlük içerisindeki taban fonksiyonlarının ağırlıklandırılmış toplamı şeklinde adım adım güncelleyerek temsil etmeyi amaçlar. Yöntemin her bir adımında, iz düşüm hatasını en küçükleyen taban fonksiyonlarının seçimi gerçekleştirilir. Bu işlem matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \langle f_k(t), u_k(t) \rangle u_k(t) \quad (4.4)$$

Burada

$$f_k(t) = f(t) - \sum_{n=1}^{k-1} \langle f_n(t), u_n(t) \rangle u_n(t), \quad k = 2, 3, \dots \quad (4.5)$$

izdüşüm hatası olup $f(t)$, Hilbert uzayında tanımlı işareti, $u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t), \dots$ ise Hilbert uzayını geren aşırı tanımlı sözlük içerisindeki birim normlu dik taban fonksiyonlarını temsil eder. Eşitlik (4.4) ve (4.5)'de $f_1(t) = f(t)$ olarak kabul edilir. Eğer ET yöntemi sonsuza kadar sürdürülürse, iz düşüm hatası sıfırlanarak asıl işarete bire bir yakınsama sağlanır. Fakat uygulamada ET yöntemi, önceden belirlenen bir iterasyon sayısına kadar ya da iz düşüm hatası kullanıcı tarafından tanımlanan belirli bir eşik değerinin altına ininceye kadar sürdürülür (Yavuz 2011).

4.3 Uyarlamalı Fourier Ayrıştırmasının Sistematiği

Qian ve diğ. (2011) tarafından keşfedilen UFA, matematiksel olarak kapalı formda ifade edilebilen, doğrusal ve durağan olmayan analitik işaretlerin analizinde de kullanılabilen yeni bir ayrıştırma yöntemidir. UFA ile analitik bir işaret, enerjileri azalan sırada TB işlevlerine ve standart bir artık işarete ayrıştırılır.

UFA'nın ilk adımı, sıfır ortalamalı, gerçek değerli, N örnekli herhangi bir $s(n)$ işaretinin, analitik biçimine karşılık gelen,

$$f(n) = s(n) + jH\{s(n)\} \quad (4.6)$$

işaretinin elde edilmesiyle başlar. $f(n)$ işaretinin üzerine UFA'nın uygulanmasıyla aşağıdaki eşdeğer gösterime ulaşılır:

$$f(n) = \sum_{k=1}^M d_k(n) + R_M(n) \quad (4.7)$$

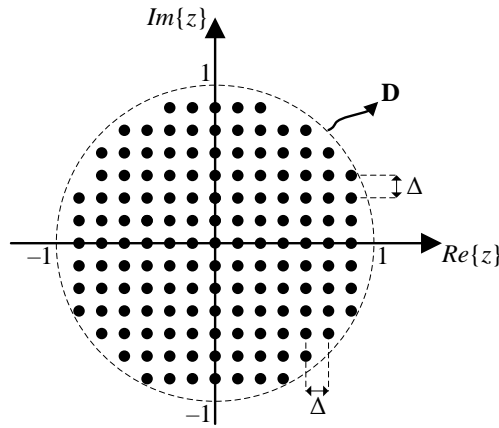
Burada $d_k(n)$ ve $R_M(n)$ sırasıyla $n = 0, 1, \dots, N - 1$ ayrık zaman örnekleri için k . temel bileşeni ve artık işareti temsil eder. M ise toplam ayrıştırma seviyesine karşı düşer. Analitik işaret $f(n)$ 'nin k . temel bileşeni

$$d_k(n) = c_k B_k(e^{j2\pi n/N}) \quad (4.8)$$

olup $B_k(e^{j2\pi n/N})$ birim normlu dik taban fonksiyonuna karşı düşer ve

$$B_k(e^{j2\pi n/N}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{1-|a_k|^2}}{1-a_k^* e^{j2\pi n/N}} \prod_{l=1}^{k-1} \frac{e^{j2\pi n/N} - a_l}{1-a_l^* e^{j2\pi n/N}} \quad (4.9)$$

şeklinde tanımlanır (Qian 2011). Eşitlik (4.9) aynı zamanda T-M sistem olarak adlandırılır. T-M sistemini oluşturan $\{a_i | i = 1, 2, \dots, M\} \in \mathbf{D}$ katsayıları $|z| < 1$ ile sınırlandırılan birim çember içerisinde seçilmek zorundadır. Burada \mathbf{D} , Şekil 4.1’de resmedilen birim çemberi tanımlar. Bu çember içerisinde dikey ve yatay ekseninde Δ aralıklarla tanımlanan noktalar, (4.9) eşitliği ile verilen taban fonksiyonunun tanımlanmasında kullanılan sözlüğü oluşturur.



Şekil 4.1: T-M taban fonksiyonlarının tanımlanmasında gerekli olan katsayılara karşı düşen aday noktaları içerisinde barındıran kullanıcı tanımlı sözlük

Eşitlik (4.8)’deki ağırlıklandırma katsayılarını temsil eden c_k ’lar ise

$$c_k = \frac{2\pi}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) B_k^*(e^{j2\pi n/N}) \quad (4.10)$$

eşitliği ile hesaplanır ve bu katsayılar, (2.2) ile karşılaştırıldığında *genelleştirilmiş ÜFS katsayıları* olarak yorumlanabilir. Eşitlik (4.9) ve (4.10)’daki $(.)^*$ ve $|.$ işlemcileri karmaşık eşleniği ve mutlak değeri belirtir.

Eşitlik (4.7)-(4.10)’dan açıkça görüldüğü üzere $\{B_k(e^{j2\pi n/N})\}$ taban fonksiyonları kümesinin belirlenmesi, UFA’nın gerçekleştirilmesindeki en önemli problemdir. Bu problemin çözümü, öncelikli olarak ayrıştırmanın her bir adımında kullanılan T-M sistemlerinin temel yapı taşı olan $\{a_i | i = 1, 2, \dots, M\}$ katsayılarının birim çember içerisinde seçimine bağlıdır. Eşitlik (4.9) ile oluşturulacak olan her bir taban fonksiyonunun TB olmasını garanti etmek için UFA sürecine $a_1 = 0$ ile

başlanır. Bu durumda birinci taban fonksiyonu $B_1(e^{j2\pi n/N}) = 1/\sqrt{2\pi}$ olarak elde edilir ve geriye kalan $\{a_i | i = 2, 3, \dots, M\}$ katsayılarının belirlenmesi, EBİD ilkesi temelinde adım adım gerçekleştirilir. Bu bağlamda, Şekil 4.1’de gösterilen kullanıcı tanımlı sözlükten yararlanır. Bu sözlükte bulunan her bir nokta için

$$e_a(e^{j2\pi n/N}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{1 - |a|^2}}{1 - a^* e^{j2\pi n/N}}, \quad a \in \mathbf{D} \quad (4.11)$$

eşitliği ile tanımlanan değerlendirme fonksiyonunun hesabı yapılır. Burada a değişkeni, Şekil 4.1’de gösterilen birim çember \mathbf{D} içerisindeki herhangi bir noktayı temsil etmektedir (Qian 2011).

$i = 1, 2, \dots, M - 1$ için a_{i+1} katsayısı, belirli bir Δ değeri ile Şekil 4.1’deki gibi oluşturulan tüm noktaların (4.11)’de a değişkeninin yerine konmasıyla hesaplanan değerlendirme fonksiyonlarının kullanımıyla EBİD ilkesi temelinde

$$a_{i+1} = \arg \max\{J(a)\} \quad (4.12)$$

ile belirlenir. $i = 1, 2, \dots, M - 1$ ve $a \in \mathbf{D}$ olmak üzere (4.12) eşitliğindeki $J(a)$, a katsayısı için amaç fonksiyonunu temsil eder ve

$$J(a) = \left| \frac{2\pi}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F_{i+1}(e^{j2\pi n/N}) e_a^*(e^{j2\pi n/N}) \right|^2 \quad (4.13)$$

ile tanımlanır. Burada $F_{i+1}(e^{j2\pi n/N})$, *indirgenmiş artık işaret* olarak adlandırılır ve $F_1(e^{j2\pi n/N}) = f(n)$ başlangıç şartı ile

$$F_{i+1}(e^{j2\pi n/N}) = R_i(e^{j2\pi n/N}) \left(\frac{1 - a_i^* e^{j2\pi n/N}}{e^{j2\pi n/N} - a_i} \right) \quad (4.14)$$

eşitliği üzerinden hesaplanır. Eşitlik (4.14)’deki $R_i(e^{j2\pi n/N})$, i . ayrıştırma adımındaki artık işareti belirtir ve

$$R_i(e^{j2\pi n/N}) = F_i(e^{j2\pi n/N}) - \left(\frac{2\pi}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F_{i+1}(e^{j2\pi n/N}) e_{a_i}^*(e^{j2\pi n/N}) \right) e_{a_i}(e^{j2\pi n/N}) \quad (4.15)$$

ile tanımlanır. Burada $e_{a_i}(e^{j2\pi n/N})$, Şekil 4.1’de resmedilen kullanıcı tanımlı sözlük içerisinden seçilen ve (4.12)’yi sağlayan $\{a_i\}$ noktasına ilişkin değerlendirme fonksiyonunu ifade eder.

UFA’nın gerçekleştirilmesindeki diğer bir sorun ise toplam ayrıştırma seviyesi M ’nin belirlenmesidir. M ’nin değeri ya kullanıcı tarafından başlangıçta tanımlanır ya da aşağıdaki koşul sağlanacak şekilde belirlenir:

$$\frac{2\pi}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (|f(n)|^2 - |f_M(n)|^2) < \epsilon \quad (4.16)$$

Burada ϵ , analitik işaret $f(n)$ ile geri çatılmış sürümü olan $f_M(n)$ arasındaki enerji farkına karşı düşen yeterince küçük bir eşik değerini ifade eder. Böylece $f(n)$ ’nin geri çatılmış sürümüne karşı düşen $f_M(n)$ işareti

$$f_M(n) = \sum_{k=1}^M d_k(n) \quad (4.17)$$

ile asıl işaret $f(n)$ ’nin enerjisini büyük oranda temsil etmiş olur.

Gerçek değerli $s(n)$ işaretinin geri çatılmış sürümü ise (4.17) ile elde edilen analitik işaretin gerçek kısmının alınmasıyla elde edilir:

$$\hat{s}(n) = \text{Re}\{f_M(n)\} \quad (4.18)$$

5. ÖNERİLEN YAKLAŞIMLAR

5.1 UFA-Jaya Temelinde İşaret Geri Çatımı

UFA yöntemi ile şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, taban fonksiyonlarını tanımlamada gerekli olan katsayılar, Şekil 4.1’de gösterilen kullanıcı tanımlı bir sözlük vasıtasıyla belirlenmektedir (Qian ve diğ. 2011, 2013, 2014). Geleneksel UFA’nın işleyiş biçiminde sözlük içerisindeki tüm noktalar, $i = 2, 3, \dots, M$ olmak üzere her ayrıştırma adımında (4.12) eşitliği üzerinden değerlendirilir ve i . ayrıştırma adımında (4.12) eşitliğini sağlayan nokta a_i katsayısı olarak belirlenir. Belirlenen bu katsayıların (4.9) eşitliğinde kullanımı ile UFA’nın belkemiğini teşkil eden taban fonksiyonlarının tanımlanması sağlanmış olur.

Sözlükteki nokta sayısının fazlalığı, taban fonksiyonlarının dolayısıyla asıl işaretin gösterim doğruluğunu etkileyen unsurlardan biridir. Diğer önemli bir unsur ise toplam ayrıştırma seviyesi M ’nin değeridir. Pratik uygulamalarda UFA, asıl işaret ile geri çatılan işaretin enerjilerinin farkının önceden belirlenen bir eşik değerinin altına düşene kadar devam eder. Fakat işaretin mümkün olan en doğru gösterimini elde etmek için ya eşik değeri yeterince küçük seçilmeli ya da taban fonksiyonlarının tanımlanmasında kullanılan sözlüğün olabildiğince fazla nokta içermesi gerekmektedir. Ancak bu tip çözüm önerileri ayrıştırma seviyesinin ve dolayısıyla işlem süresinin artmasına sebep olur. Bu problemin etkilerini yatıştırmak için Wang ve diğ. (2015) tarafından önerilen yaklaşım, her ne kadar işaret ayrıştırma süresini kısaltsa da kullandığı en iyileme yönteminin birçok parametreye ihtiyaç duyması, yöntemin pratik olarak uygulanmasını kısıtlamaktadır.

Tez kapsamında ilk olarak, geleneksel UFA yönteminin uygulanabilirliğini sınırlayan “sözlük” ve “toplam ayrıştırma seviyesinin değeri” gibi gerekliliklerin başlangıçta tanımlanması zorunluluğunu ortadan kaldırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla, birey tabanlı sezgi üstü Jaya en iyileme yöntemi (Rao, 2016) ile UFA’nın bütünleştirilmesine karşı düşen UFA-Jaya yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım

sayesinde herhangi bir sözlük tanımlamasına ihtiyaç duymaksızın (4.12)'yi sağlayan $\{a_i | i = 2, 3, \dots, M\}$ katsayı dizisinin elde edilmesi Jaya yöntemi ile gerçekleştirilir. Tablo 5.1'de işlem adımları verilen UFA-Jaya yaklaşımının 5. adımında kullanılan Jaya yordamının işlem adımları Tablo 5.2'de listelenmiştir.

Tablo 5.1: UFA-Jaya Yaklaşımının İşlem Adımları

Adım	İşlemler
	<p>Girişler:</p> <p>$s(n)$: N-örnekli sıfır ortalamalı gerçek değerli işaret, $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$.</p> <p>$S$: Jaya için nüfus büyüklüğü; T_{max}: Jaya için en büyük iterasyon sayısı</p> <p>Başlangıç:</p> <p>$f(n) \leftarrow s(n) + jH\{s(n)\}$; $F_1(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow f(n)$; $d_1(n) = (1/N) \sum_{m=0}^{N-1} f(m)$;</p> <p>$a_1 = 0$; $i = 1$; $err_1 = \infty$; $B_1(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow 1/\sqrt{2\pi}$</p>
1	while (1) do
2	$e_{a_i}(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{1- a_i ^2}}{1-a_i^* e^{j2\pi n/N}}$
3	$R_i(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow F_i(e^{j2\pi n/N}) - \left(\frac{2\pi}{N} \sum_{n=1}^{N-1} F_i(e^{j2\pi n/N}) e_{a_i}^*(e^{j2\pi n/N})\right) e_{a_i}(e^{j2\pi n/N})$
4	$F_{i+1}(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow R_i(e^{j2\pi n/N}) \left(\frac{1-a_i^* e^{j2\pi n/N}}{e^{j2\pi n/N} - a_i}\right)$
5	$a_{i+1} \leftarrow$ Jaya yordamının ürettiği çıkış (Tablo 5.2)
6	$B_{i+1}(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{1- a_{i+1} ^2}}{1-a_{i+1}^* e^{j2\pi n/N}} \prod_{l=1}^i \frac{e^{j2\pi n/N} - a_l}{1 - a_l^* e^{j2\pi n/N}}$
7	$c_{i+1} \leftarrow \frac{2\pi}{N} \sum_{n=1}^{N-1} f(n) B_{i+1}^*(e^{j2\pi n/N})$;
8	$d_{i+1}(n) \leftarrow c_{i+1} B_{i+1}(e^{j2\pi n/N})$;
9	$f_{i+1}(n) \leftarrow \sum_{k=1}^{i+1} d_k(n)$;
10	$err_{i+1} \leftarrow \frac{2\pi}{N} \sum_{n=0}^N (f(n) ^2 - f_{i+1}(n) ^2)$;
11	if $err_i - err_{i+1} < 1 \times 10^{-5}$
12	$M \leftarrow i$ (toplam ayrıştırma seviyesi)
13	break while
14	end if
15	$i \leftarrow i + 1$;
16	end while
17	$s_r(n) \leftarrow Re\{f_i(n)\}$
	<p>Çıkış:</p> <p>$s_r(n)$: $s(n)$ işaretinin geri çatılmış hali</p>

Tablo 5.2: UFA-Jaya Yaklaşımında Kullanılan Jaya Yordamının İşlem Adımları

Adım	İşlemler
	Başlangıç: $k = 1$; (iterasyon sayacı)
1	$m = 1, 2, \dots, S$ için $ z_m < 1$ olacak şekilde S adet karmaşık değerli bireyleri rastgele üret.
2	Eşitlik (4.13)'de a yerine z_m kullanarak bireylere ilişkin uygunluk değerlerini ($J(z_m)$) hesapla
3	$z^{ei} \leftarrow \max\{J(z_m) m = 1, 2, \dots, S\}$; $z^{ek} \leftarrow \min\{J(z_m) m = 1, 2, \dots, S\}$
4	while (1) do
	(Yeni bireylerin üretimi)
5	$r_1, r_2 \sim U(0,1)$ (Hem r_1 hem de r_2 için ayrı ayrı (0, 1) aralığında rastgele sayı üret)
6	for $m = 1 \dots S$
7	for $p = 1 \dots 2$
8	$z_{m,p}^y \leftarrow z_{m,p} + r_1(z^{ei} - z_{m,p}) - r_2(z^{ek} - z_{m,p})$ ($z_{m,1}$ ve $z_{m,2}$ sırasıyla z_m 'nin gerçek ve sanal kısımlarını belirtir)
9	end
10	$z_m^y \leftarrow z_{m,1} + jz_{m,2}$; (Üretilen yeni bireylerin birim çember içerisinde olmasını garantilemek)
11	if $ z_m^y > 1$
12	$z_m^y \leftarrow (z_m^y / z_m^y) 0.99$
13	end if (Birey güncellemesi)
14	if $J(z_m^y) > J(z_m)$
15	$z_m \leftarrow z_m^y$;
16	end if
17	end
18	$z^{ei} \leftarrow \max\{J(z_m) m = 1, 2, \dots, S\}$; $z^{ek} \leftarrow \min\{J(z_m) m = 1, 2, \dots, S\}$ (Katsayı arama işlemini durdurma süreci)
19	if $k > T_{max}$
20	$a_{i+1} \leftarrow z^{ei}$;
21	break while
22	end if
23	$k \leftarrow k + 1$;
24	end while
	Çıkış: a_{i+1} : UFA için taban fonksiyonlarının tanımında gerekli olan katsayı

Tablo 5.2’de tanımlanan Jaya yordamı, UFA’nın her bir ayrıştırma seviyesinde gerekli taban fonksiyonlarının belirlenmesi için icra edilmiştir.

Tablo 5.1’den de görüldüğü üzere toplam ayrıştırma seviyesi olan M ’nin değeri, i . ayrıştırma seviyesinde hesaplanan

$$err_i = \frac{2\pi}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (|f(n)|^2 - |f_i(n)|^2) \quad (5.1)$$

hata değeri dikkate alınarak $err_i - err_{i+1} < 0$ koşulunun sağlanması durumunda ayrıştırma işlemi durdurulmak suretiyle otomatik olarak belirlenebildiği gözlenmiştir. Çünkü (5.1) eşitliği ile tanımlanan göreceli hata bütünsel minimuma ulaştıktan sonra artmaya başlar. Bu nedenle bütünsel minimumun sağlandığı ayrıştırma seviyesi toplam ayrıştırma seviyesi olarak alınır ve ayrıştırma sonlandırılır. Diğer taraftan, önerilen yaklaşım ile gerçek dünya işaretlerin ayrıştırılmasında bu yolla belirlenen M ’nin haddinden fazla büyük bir değere sahip olduğu görülmüştür. İşlem süresini ve bellek ihtiyacını artıran bu istenmeyen durumdan kaçınmak için Tablo 5.1’de de görüldüğü üzere ayrıştırma işlemine $i = 1, 2, \dots$, için $err_i - err_{i+1} < 10^{-5}$ koşulu eklenmiştir.

5.2 Gürültünün Varlığında UFA-Jaya Temelinde İşaret Geri Çatımı

Özellikle haberleşme ve elektronik ölçüm sistemlerinde işaretler ile ilgili karşılaşılan en önemli sorun gürültü ile işaretin etkileşmesidir. Bu tür sistemlerde asıl işaretin özelliklerini etkileyen arzu edilmeyen işaret girişimi, tüm frekans bandını etkileyen beyaz Gauss gürültüsü (BGG) olarak adlandırılır ve gürültülü işaret matematiksel olarak

$$s(n) = x(n) + Kw(n) \quad (5.2)$$

şeklinde modellenir. Burada $x(n)$, asıl işareti temsil ederken; $w(n)$, sıfır-ortalamalı birim varyanslı BGG işaretini temsil eder. K ise gürültülü işaret $s(n)$ ’deki gürültü etkisini belirten pozitif bir katsayıya karşı düşer. $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ ayrık zaman indislerini göstermek üzere N örnekli bir işaret için

$$K = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} x^2(n)}{10^{0.1 \times SNR} \sum_{n=0}^{N-1} w^2(n)}} \quad (5.3)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada SNR , desibel (dB) olarak asıl işaret gücünün gürültü gücüne oranını ifade eder. Gürültülü işaret üzerinde herhangi bir işlem yapmadan önce işaretin ortalama değerinden kaynaklı genlik ötelemelerinin (DC offset etkisinin) önüne geçmek için gürültülü işaretin ortalama değeri, işaretten çıkartılarak sıfır ortalamalı hale getirilir.

BGG ile bozulmuş bir işaretten gürültüsüz (asıl) işaretin geri çatımı, güncelliğini yıllardır koruyan bir konudur. Tezde, gürültünün varlığında UFA-Jaya yaklaşımı temelinde işaret geri çatımını gerçekleştirebilmek için S-G süzgeçleme ile UFA-Jaya yaklaşımının bütünleştirildiği yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Mevcut bilimsel yazınlarda, S-G süzgecin asıl işarettaki ani geçişleri bozmadan gürültüyü bastırdığı doğrulanmıştır (Savitzky ve Golay 1964). S-G süzgeçlerin bu özelliğinin $SNR > 0$ dB varsayımı altında UFA ile işaret geri çatımında tatmin edici sonuçlar üreteceği beklentisinden yola çıkarak S-G süzgeçlemenin UFA-Jaya yaklaşımı ile birleştirilmesi fikri ortaya çıkmıştır. Bu düşünce çerçevesinde, BGG ile bozulmuş bir işarete uygulanan Jaya destekli UFA'nın her ayrıştırma seviyesinde belirlenen TB'lerin toplamı üzerine S-G süzgecin uygulanması ile asıl işaretin geri çatımının gerçekleştirilmesi önerilmiştir. Önerilen bu yaklaşımın işlem adımları Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3'de işaretin ayrıştırılmasında gerekli olan toplam ayrıştırma seviyesine karşı düşen M 'nin değeri (5.1) eşitliği ile tanımlanan hata değeri dikkate alınarak belirlenir. Daha önce Bölüm 5.1'de ifade edildiği gibi işlem süresi ve bellek ihtiyacını artıran durumlardan kaçınmak için ayrıştırmayı durdurma ölçütü olarak $err_i - err_{i+1} < 10^{-6}$ koşulu belirlenmiştir.

Tablo 5.3: S-G Süzgeçleme ile Birleştirilen UFA-Jaya Yaklaşımının İşlem Adımları

Adım	İşlemler
	<p>Girişler:</p> <p>$s(n)$: N-örnekli sıfır ortalamalı gerçek değerli gürültülü işaret, $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$.</p> <p>$S$: Jaya için nüfus büyüklüğü; T_{max}: Jaya için en büyük iterasyon sayısı</p> <p>P: S-G süzgeç mertebesi; Q: S-G süzgeç için pencere büyüklüğü;</p> <p>Başlangıç:</p> <p>$f(n) \leftarrow s(n) + jH\{s(n)\}$; $F_1(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow f(n)$; $d_1(n) = (1/N) \sum_{m=0}^{N-1} f(m)$;</p> <p>$a_1 = 0$; $i = 1$; $err_1 = \infty$; $B_1(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow 1/\sqrt{2\pi}$</p>
1	while (1) do
2	$e_{a_i}(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{1- a_i ^2}}{1-a_i^* e^{j2\pi n/N}}$
3	$R_i(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow F_i(e^{j2\pi n/N}) - \left(\frac{2\pi}{N} \sum_{n=1}^{N-1} F_i(e^{j2\pi n/N}) e_{a_i}^*(e^{j2\pi n/N})\right) e_{a_i}(e^{j2\pi n/N})$
4	$F_{i+1}(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow R_i(e^{j2\pi n/N}) \left(\frac{1-a_i^* e^{j2\pi n/N}}{e^{j2\pi n/N} - a_i}\right)$
5	$a_{i+1} \leftarrow$ Jaya yordamının ürettiği çıkış (Tablo 5.2)
6	$B_{i+1}(e^{j2\pi n/N}) \leftarrow \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{1- a_{i+1} ^2}}{1-a_{i+1}^* e^{j2\pi n/N}} \prod_{l=1}^i \frac{e^{j2\pi n/N} - a_l}{1-a_l^* e^{j2\pi n/N}}$
7	$c_{i+1} \leftarrow \frac{2\pi}{N} \sum_{n=1}^{N-1} f(n) B_{i+1}^*(e^{j2\pi n/N})$;
8	$d_{i+1}(n) \leftarrow c_{i+1} B_{i+1}(e^{j2\pi n/N})$;
9	$f_{i+1}(n) \leftarrow \sum_{k=1}^{i+1} d_k(n)$;
	(i . ayırıştırma seviyesine kadar elde edilen N örnekli TB'lerin toplamı üzerine S-G süzgeçleme işlemi uygula ve toplamı süzgeçlenmiş sürümü ile güncelle)
10	$f_{i+1}(n) \leftarrow sgolayfilt^\dagger(f_{i+1}(n), P, Q)$
11	$err_{i+1} \leftarrow \frac{2\pi}{N} \sum_{n=0}^N (f(n) ^2 - f_{i+1}(n) ^2)$;
12	if $err_i - err_{i+1} < 1 \times 10^{-6}$
13	$M \leftarrow i$ (toplam ayırıştırma seviyesi)
14	break while
15	end if
16	$i \leftarrow i + 1$;
17	end while
18	$x_r(n) \leftarrow Re\{f_i(n)\}$
	<p>Çıkış:</p> <p>$x_r(n)$: $x(n)$ işaretinin geri çatılmış hali</p>

[†]S-G süzgeçleme için kullanılan Matlab gömülü fonksiyonu

6. BENZETİM SONUÇLARI

Bu bölümde, önerilen yaklaşımların başarımlarını değerlendirmek için çeşitli işaretler üzerinden bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiştir. İki alt başlık altında toplanan nitel ve nicel değerlendirmelerden ilki, önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile geleneksel UFA'nın üretmiş olduğu sonuçları; ikincisi ise gürültünün varlığında işaret geri çatımı için önerilen karma yaklaşım (S-G süzgeçleme ile birleştirilmiş UFA-Jaya yaklaşımı) ile mevcut yöntemin ürettiği sonuçları kapsamaktadır.

Her iki değerlendirmede, geleneksel UFA ve Wang (2016) yöntemi için taban fonksiyonlarının tanımlanmasında kullanılan noktaları içeren Şekil 4.1 ile resmedilen sözlük, literatürdeki haliyle $\Delta = 0.02$ seçimi ile oluşturulmuştur. Tarafsız bir değerlendirme için önerilen yaklaşım ve mevcut yöntemler, birbirinden bağımsız olarak 50 kez koşturulmuştur. Her bir program koşturması ile elde edilen işaret geri çatım sonuçlarını karşılaştırmak için yerine göre çeşitli nicel başarımlar ölçütlerinden faydalanılmıştır. Bu başarımlar ölçütleri; ortalama kareler hatası (OKH), enerji oranı (EO), işaret-hata oranı (İHO) ve yöntemlerin işlem süreleri olarak ifade edilebilir. OKH, EO ve İHO ölçütleri sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [x(n) - \hat{x}(n)]^2 \quad (6.1)$$

$$ER = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} \hat{x}^2(n)}{\sum_{n=0}^{N-1} x^2(n)} \quad (6.2)$$

$$İHO = \frac{1}{N \times OKH} \sum_{n=0}^{N-1} x^2(n) \quad (6.3)$$

Burada $x(n)$, gürültüsüz (asıl) işareti $\hat{x}(n)$ ise $x(n)$ 'nin geri çatılmış sürümüne karşı düşer. İyi bir işaret geri çatımı için OKH değeri olabildiğince sıfıra yakın olmalı, ER değeri 1'e yakın değer almalı ve İOH değeri ise olabildiğince yüksek olmalıdır.

Nicel değerlendirmelere ek olarak özellikle gürültünün varlığında işaret geri çatım sonuçlarının nitel değerlendirmeleri için geri çatılan işaretler ile asıl işaret

arasındaki farkın mutlak değerine karşı düşen mutlak hata çizimlerine de yer verilmiştir.

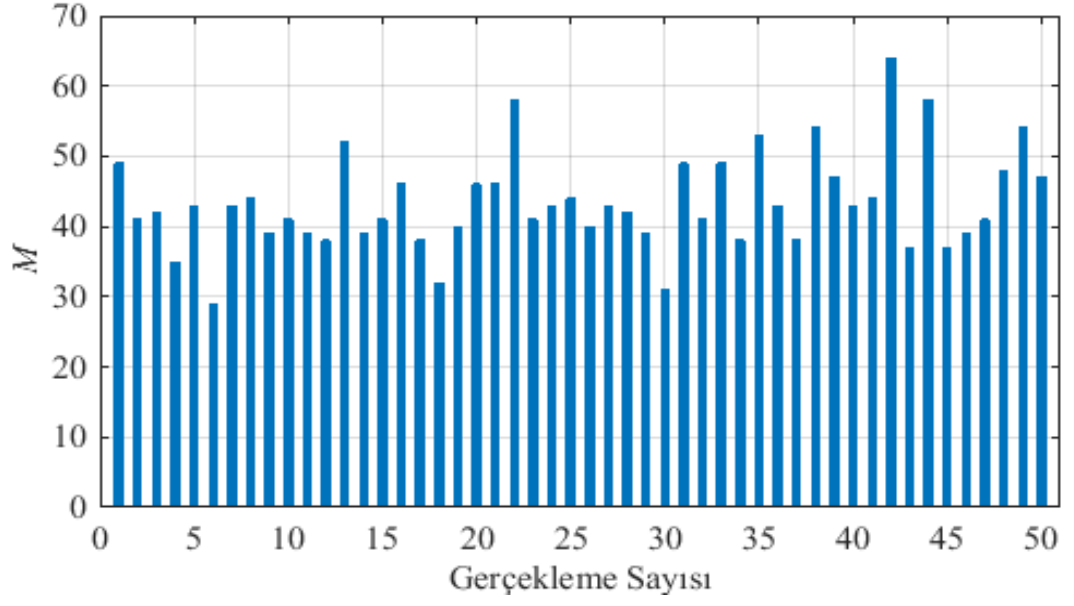
6.1 UFA-Jaya Yaklaşımı ile Elde Edilen Sonuçlar

Bu bölümde, önerilen UFA-Jaya yaklaşımının geçerliliğini göstermek ve başarımını geleneksel UFA yöntemiyle karşılaştırmak amacıyla yapay ve gerçek dünya işaretleri kullanılarak çeşitli bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiştir.

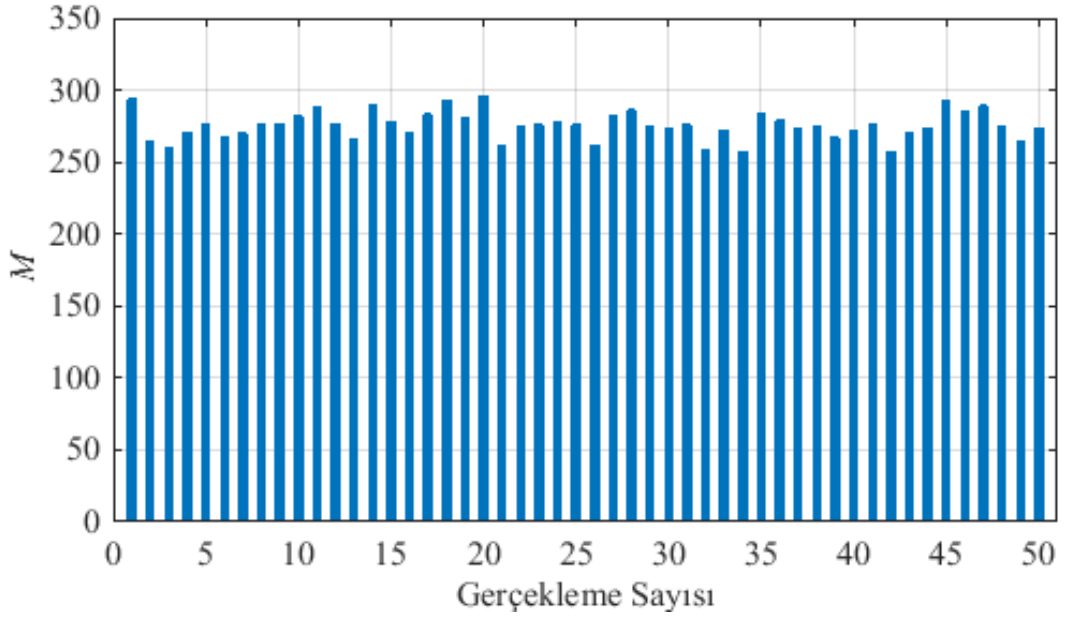
Gerçekleştirilen benzetimlerde incelenen ilk işaret, $n = 0, 1, \dots, N - 1$ olmak üzere $N = 2000$ örnekli olacak şekilde $s(n) = \cos(2\pi n/N)^2$ fonksiyonu ile yapay olarak üretilmiştir. İkinci işaret olarak, TIMIT veri tabanından (TIMIT 2012) temin edilen insan sesi örneği kullanılmıştır. Değerlendirme kullanılan ses örneği, kadın konuşmacı tarafından “She had your dark suit in greasy wash water all the year” cümlesinin seslendirilmesini içermekte olup bu işaret 16 kHz örnekleme frekansı ve 16 bit çözünürlük ile oluşturulmuş bir ses kaydına karşı düşmektedir. Ses işareti yüksek sayıda örnek içerdiği için, hesapsal karmaşıklığı azaltmak adına ses dosyasının 1.795 ile 1.975 saniyeleri arasına karşılık düşen örnekleri kullanılmıştır. Benzetim işlemleri MATLAB 2016(a) platformunda gerçekleştirilmiştir. Benzetimde kullanılan bilgisayar Intel(R) Core(TM) i5-4460CPU @ 3.20GHz ile 8GB RAM sistem gereksinimlerine sahiptir.

Tablo 5.1’de verilen UFA-Jaya yaklaşımında Jaya için gerekli olan birey sayısı ve en büyük iterasyon sayısı $S = 10$ ve $T_{max} = 10$ alınarak belirlenen toplam ayırıştırma seviyesi M ’nin değeri, geleneksel UFA yönteminde de kullanılmıştır. Birbirinden bağımsız 50 program koşumu sonucunda elde edilen toplam ayırıştırma seviyeleri sırasıyla yapay ve ses işaretleri için Şekil 6.1 ile Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

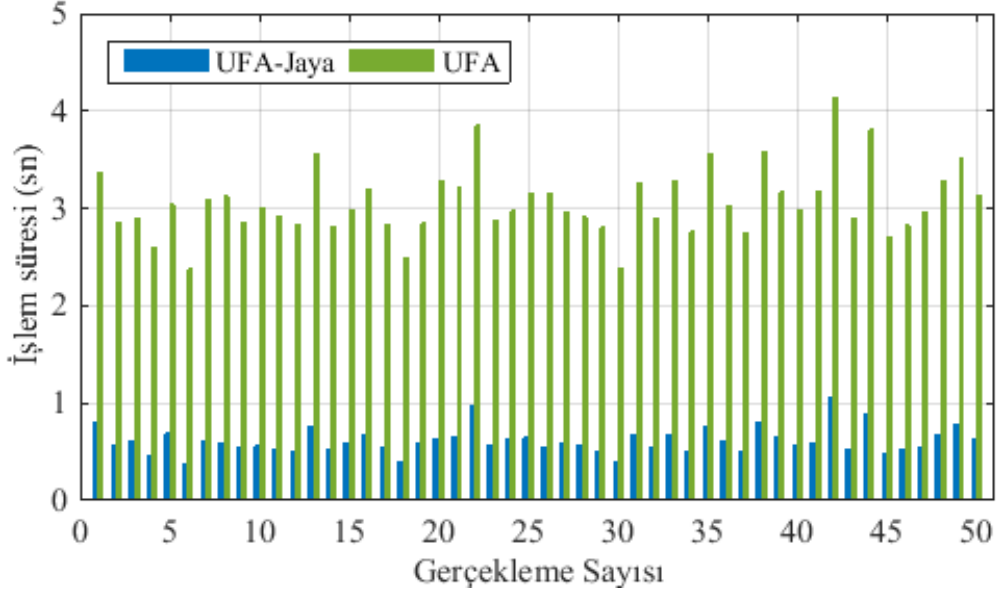
Şekil 6.1’de yapay işaret için ve Şekil 6.2’de ses işareti için her bir program koşumunda Tablo 5.1’deki UFA-Jaya yaklaşımı ile belirlenen toplam ayırıştırma seviyelerine ilişkin değerler üzerinden geleneksel UFA yönteminin ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımının yapay ve ses işaretlerini ayırştırmak için harcadığı süreler sırasıyla Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de gösterilmiştir.



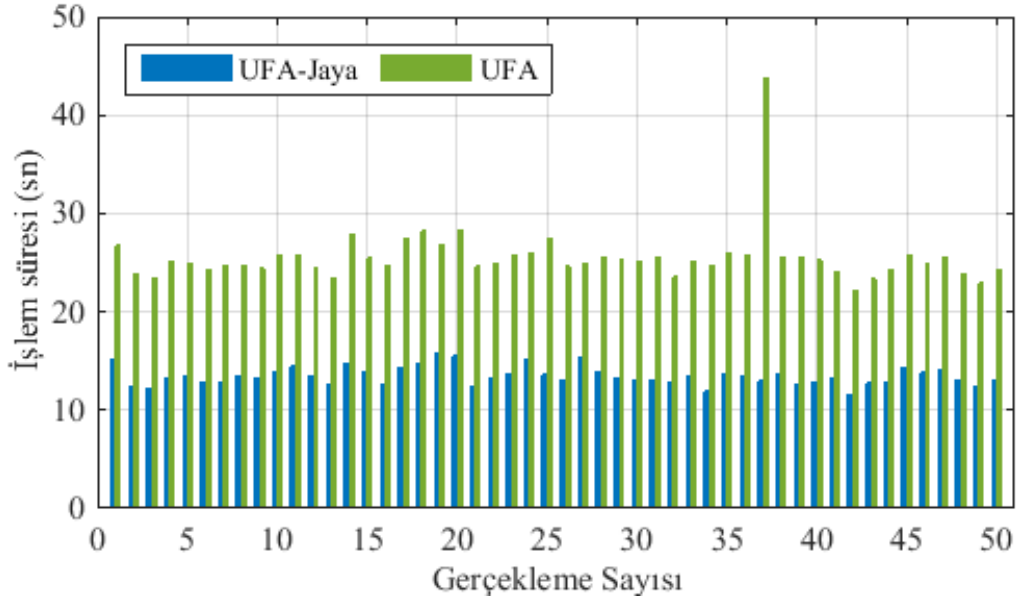
Şekil 6.1: $N = 2000$ örnekli $s(n) = \cos(2\pi n/N)^2$ işareti için birbirinden bağımsız 50 program koşumu ile elde edilen en uygun toplam ayrıştırma seviyeleri



Şekil 6.2: Ses işareti için birbirinden bağımsız 50 program koşumu ile elde edilen en uygun toplam ayrıştırma seviyeleri

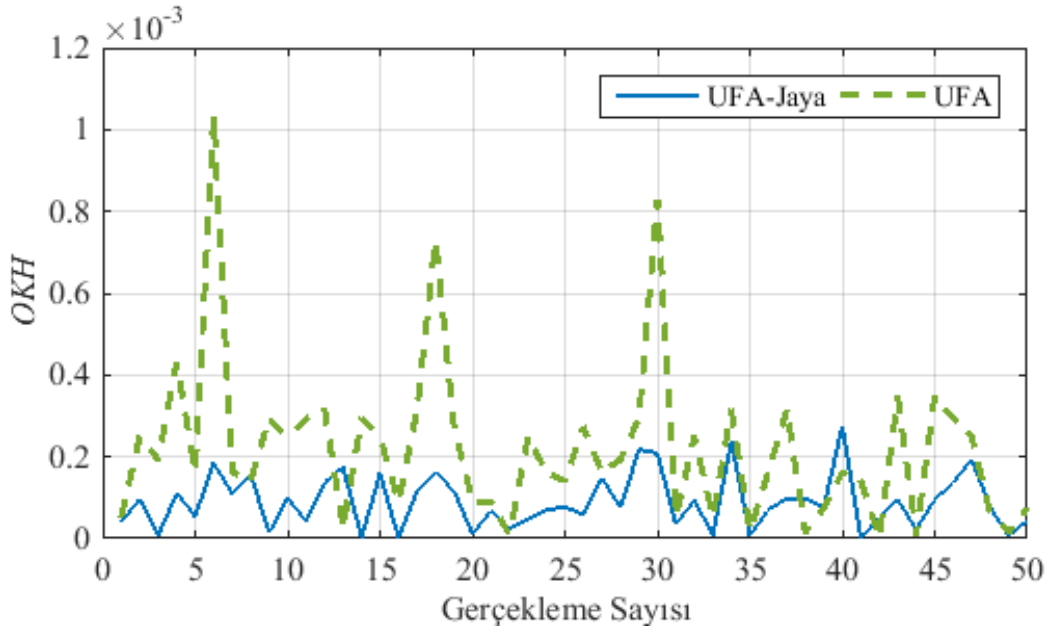


Şekil 6.3: Şekil 6.1’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden $N = 2000$ örneklili $s(n) = \cos(2\pi n/N)^2$ işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılmasında harcanan süreler

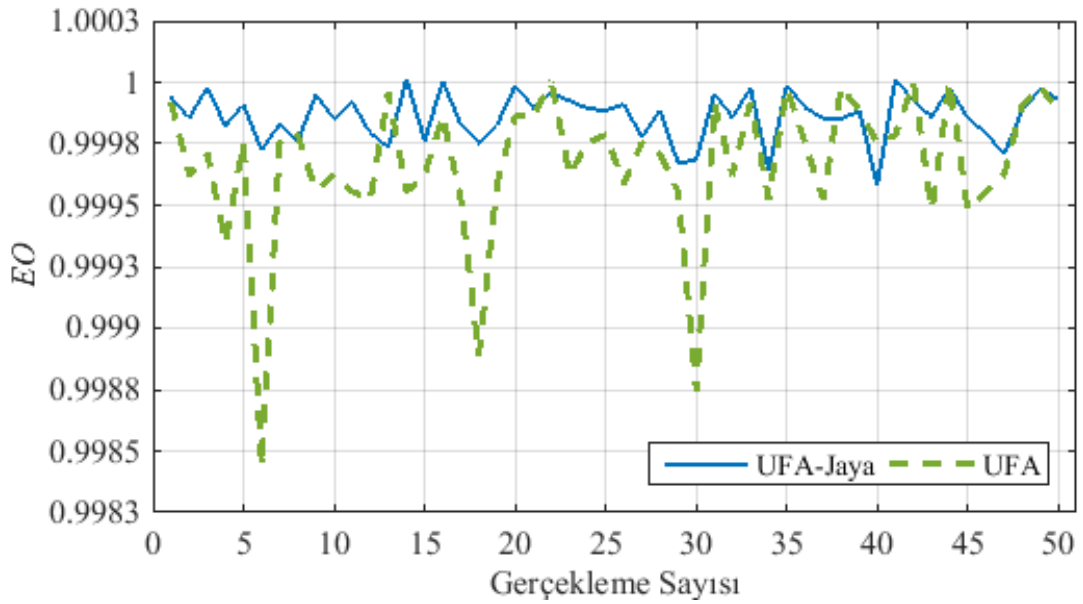


Şekil 6.4: Şekil 6.2’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden ses işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılmasında harcanan süreler

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’den görüldüğü üzere önerilen yaklaşım, işaret geri çatımında süreyi daha etkin kullanmaktadır. Buna ek olarak, OKH ve EO başarımları ölçütleri üzerinden değerlendirildiğinde önerilen yaklaşımın, yapay işaret için neredeyse her bir program koşumunda geleneksel UFA’yı geride bıraktığı Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’daki sonuçlardan açıkça görülmektedir.

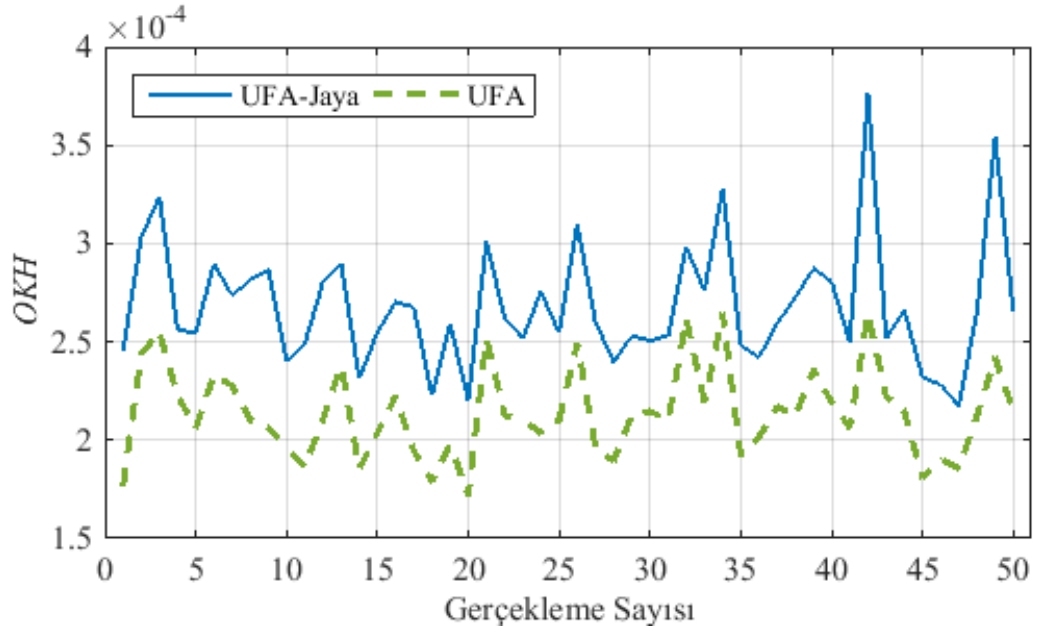


Şekil 6.5: Şekil 6.1’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden $N = 2000$ örnekli $s(n) = \cos(2\pi n/N)^2$ işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılması neticesinde elde edilen işaret geri çatımları için OKH değerleri

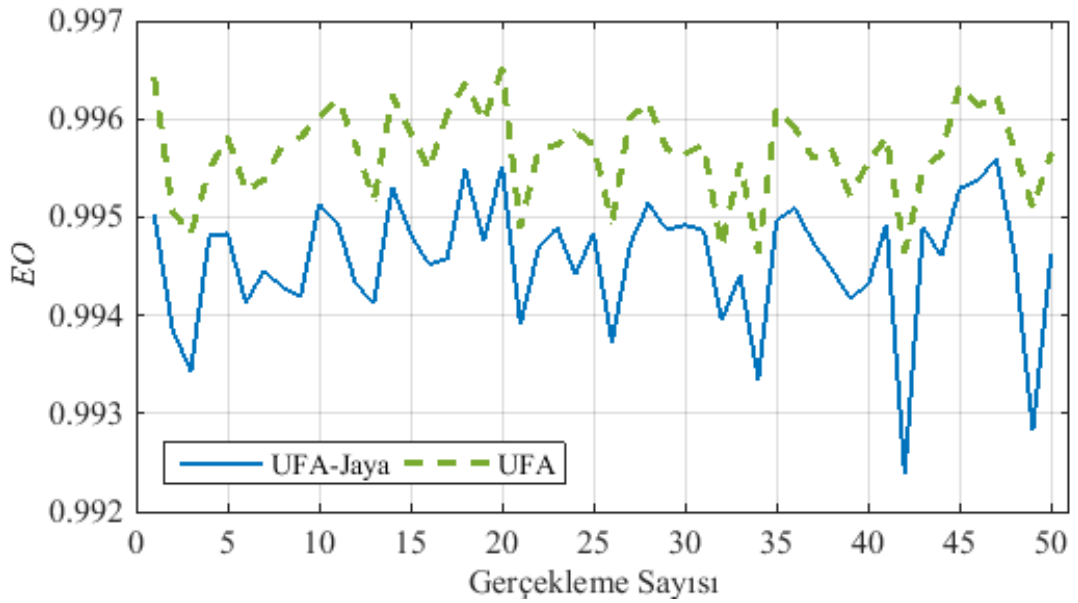


Şekil 6.6: Şekil 6.1’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden $N = 2000$ örnekli $s(n) = \cos(2\pi n/N)^2$ işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılması neticesinde elde edilen işaret geri çatımları için EO değerleri

Gerçek ses işaretinin ayrıştırılmasında, her ne kadar küçük farklar olsa da geleneksel UFA yöntemi daha iyi sonuç sergilemiştir. Fakat geleneksel UFA yöntemi süre olarak önerilen yaklaşımın gerisinde kalmıştır. Gerçek dünya işareti için OKH ve EO performans kıstasına göre edilen sonuçlar Şekil 6.7 ve Şekil 6.8 ile verilmiştir.



Şekil 6.7: Şekil 6.2’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden ses işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılması neticesinde elde edilen işaret geri çatımları için OKH değerleri



Şekil 6.8: Şekil 6.2’de elde edilen toplam ayrıştırma seviyeleri üzerinden ses işaretinin geleneksel UFA ve önerilen UFA-Jaya yaklaşımı ile ayrıştırılması neticesinde elde edilen işaret geri çatımları için EO değerleri

Yapay işarete göre ses işareti, ani geçişler içermektedir. Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’deki sonuçlar, önerilen yaklaşımın yumuşak geçişlere sahip işaretlerin geri çatımında daha iyi sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

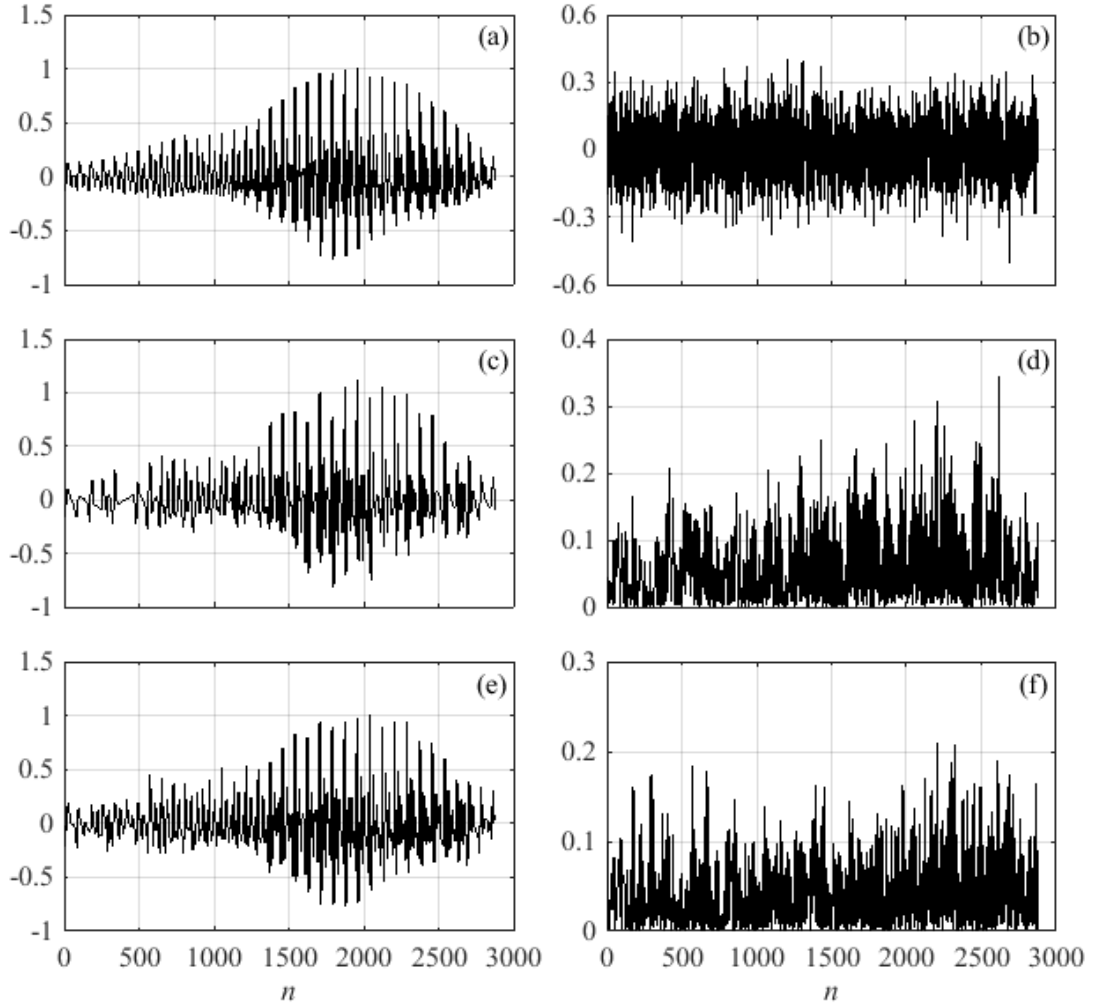
6.2 S-G Süzgeçleme ile Birleştirilmiş UFA-Jaya Yaklaşımı ile Elde Edilen Sonuçlar

Gürültünün varlığında asıl işaretin geri çatımı için önerilen ikinci yaklaşımın (S-G süzgeçleme ile birleştirilmiş UFA-Jaya yaklaşımı) başarımını değerlendirmek ve UFA temelinde Wang (2016) tarafından önerilen muadili ile karşılaştırmak için BGG ile bozulmuş gerçek dünya işaretleri (ses ve EKG) (5.2) eşitliğinden yararlanarak üretilmiş olup öncesinde veri tabanlarından temin edilen asıl (gürültüsüz) işaretler en büyük değerlerine normalize edilerek kullanılmıştır. İstenen seviyede BGG içeren gürültülü işaretler, desibel değerinde belirlenen bir SNR değeri için (5.3) eşitliği ile hesaplanan K katsayısının (5.2)'de kullanımı ile üretilmiştir. Burada gerçekleştirilen benzetim çalışmalarının tümünde $SNR = 5$ dB olarak seçilmiştir. Karşılaştırılan yöntemlerin işaret geri çatım başarımları, nitel değerlendirmelerin yanında (6.1) ve (6.3) eşitlikleri ile tanımlanan OKH ve İHO ölçütleri üzerinden yapılmıştır.

Bilgisayar benzetimlerinde, Tablo 5.3'de listelenen yaklaşımında Jaya için gerekli olan birey sayısı ve en büyük iterasyon sayısı $S = 20$ ve $T_{max} = 20$ alınmıştır. Gürültü süzme amacıyla kullanılan S-G süzgecin mertebesi $P = 8$ ve pencere genişliği $Q = 15$ olarak seçilmiştir.

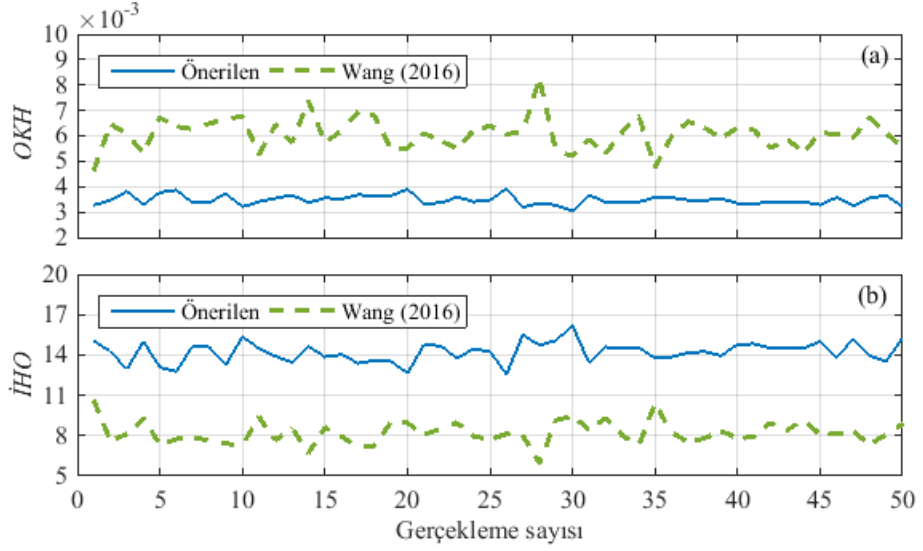
Gerçekleştirilen ilk benzetim çalışmasında, Bölüm 6.1'de de incelenen ve değişimi Şekil 6.9 (a)'da gösterilen ses işareti kullanılmıştır. Bu ses işaretine $SNR = 5$ dB olacak şekilde Şekil 6.9(b)'deki BGG gürültüsü eklenmiştir. Elde edilen gürültülü ses işaretini, Wang (2016) yöntemi ve tezde önerilen Tablo 5.3 ile verilen ikinci yaklaşımda kullanarak ulaşılan gürültüsüz işaret geri çatım sonuçları sırasıyla Şekil 6.9(c) ve Şekil 6.9(e)'de verilmiştir. Her iki yöntem ile elde edilen işaret geri çatım sonuçları ile asıl işaret arasındaki farkın mutlak değerine karşı düşen mutlak fark hataları ise sırasıyla Şekil 6.9(d) ve Şekil 6.9(f)'de gösterilmiştir. Mutlak fark hatalarından da görüldüğü üzere, gürültünün varlığında, önerilen yöntemin işaret geri çatım başarımı mevcut yönteme (Wang 2016) göre daha iyidir. Eşitlik (6.1) ve (6.3) yoluyla hesaplanan OKH ve İHO değerleri bu düşüncüyü destekler niteliktedir. Wang (2016) yöntemi ile hesaplanan OKH ve İHO değerleri sırasıyla -21.85 dB ve 8.78 dB iken önerilen yaklaşımda, -24.63 dB ve 11.56 dB değerleri elde edilmiştir. Bununla

beraber, Şekil 6.9(c) ve Şekil 6.9(e)'deki işaret geri çatım sonuçları ile Şekil 6.9(a)'daki asıl işaret değişimleri karşılaştırıldığında, önerilen yöntemin ürettiği Şekil 6.9(e)'deki işaretin, asıl işareti daha doğru takip ettiği açıkça görülmektedir.



Şekil 6.9: Ses işaretine ilişkin benzetim sonuçları: (a) Gürültüsüz ses işareti, (b) SNR = 5 dB olacak şekilde ses işaretine eklenen BGG, (c) Gürültülü ses işaretinden Wang (2016) yöntemi ile geri çatılan gürültüsüz ses işareti, (d) Wang (2016) yöntemine dayalı olarak geri çatılan ses işareti ile asıl işaret arasındaki farkın mutlak değerine karşı düşen hata işareti, (e) Önerilen yönteme dayalı olarak geri çatılan gürültüsüz ses işareti, (f) Önerilen yönteme dayalı olarak geri çatılan ses işareti ile asıl işaret arasındaki farkın mutlak değerine karşı düşen hata işareti

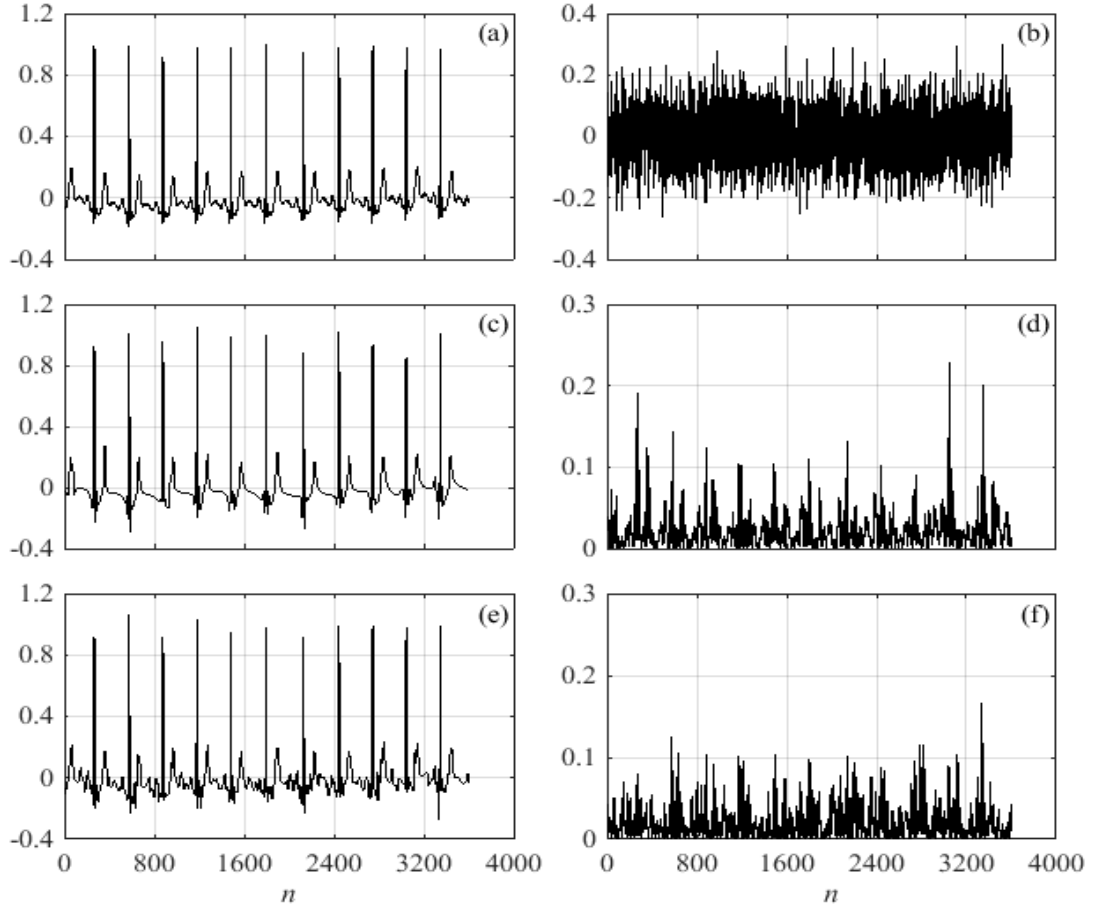
Şekil 6.9'daki sonuçlar, tek bir program gerçekleştirilmesinin ürettiği işaret geri çatımları ile ilgili olup daha adil bir başarımlar değerlendirilmesi için birbirinden bağımsız 50 program koşumu ile yöntemlerin ürettiği işaret geri çatımları için OKH ve İHO değerleri hesaplatılmıştır. Her iki yöntemin ürettiği OKH ve İHO değerlerinin değişimleri Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Şekil 6.10'daki sonuçlar, Şekil 6.9(c)-(f) ile elde edilen sonuçları ve önerilen yaklaşım için yapılan yorumları destekler niteliktedir.



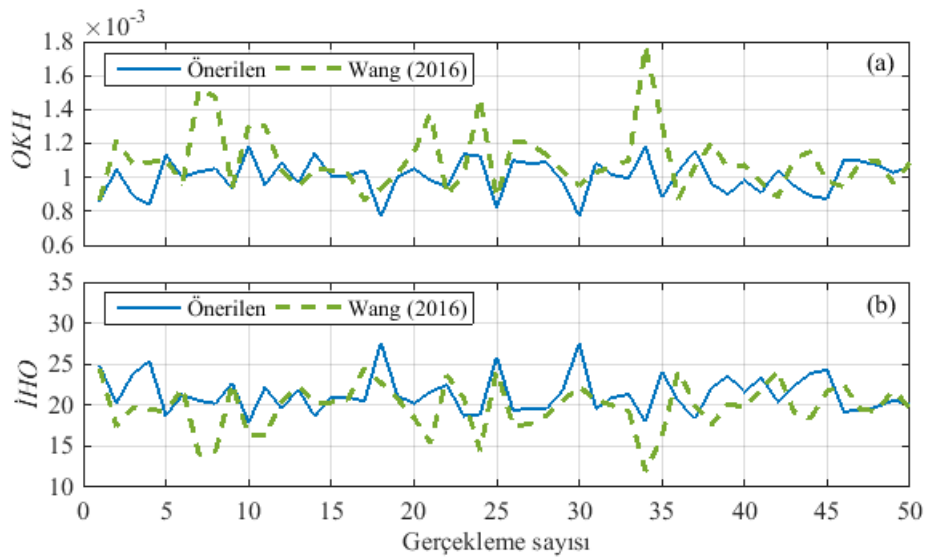
Şekil 6.10: Ses işareti için birbirinden bağımsız 50 program koşumu ile yöntemlerin ürettiği işaret geri çatımları için OKH ve İHO değerleri

İkinci benzetim çalışmasında, asıl işaret olarak MIT-BIH Arrhythmia veri tabanından on saniye süreli 360 Hz örnekleme frekansı ile kodlanmış ‘103’ kayıt numaralı EKG işareti kullanılmıştır (Goldberger 2000). EKG işaretinin değişimi Şekil 6.11(a)’da gösterilmiştir. Benzetimlerde kullanılmak üzere bu EKG işaretine $SNR = 5$ dB olacak şekilde Şekil 6.11(b)’deki BGG eklenmiştir. Gürültülü EKG işaretini, Wang (2016) yöntemi ve Tablo 5.3’de özetlenen yaklaşımda kullanarak ulaşılan sonuçlar sırasıyla Şekil 6.11(c) ve Şekil 6.11(e)’de gösterilmiştir. Her iki yöntemin ürettiği işaret geri çatımları ile asıl işaret arasındaki farkın mutlak değerine karşı düşen mutlak fark hataları ise Şekil 6.11(d) ve Şekil 6.11(f)’de verilmiştir. Ses işaretinde olduğu gibi EKG işaretinin geri çatımında da, önerilen yöntemin mevcut yöntem (Wang 2016) göre daha iyi sonuç ürettiği hata işaretlerinden açıkça görülmektedir. Eşitlik (6.1) ve (6.3) ile hesaplanan OKH ve İHO değerleri bu düşünceyi destekler niteliktedir. Wang (2016) yöntemi ile OKH ve İHO değerleri sırasıyla -28.93 dB ve 12.20 dB iken önerilen yaklaşımda, -29.92 dB ve 13.19 dB olarak elde edilmiştir. Bununla beraber ses işaretinde olduğu gibi önerilen yöntemin ürettiği işaretin, asıl işareti daha doğru takip ettiği açıkça görülmektedir.

Adil bir başarımlar değerlendirilmesi için birbirinden bağımsız 50 program koşumu ile her iki yöntemin ürettiği işaret geri çatımları için OKH ve İHO değerleri hesaplatılmış ve Şekil 6.12’de gösterilmiştir. Şekil 6.12’deki sonuçlar, Şekil 6.11(c)-(f)’deki sonuçları ve önerilen yaklaşım için yapılan yorumları desteklemektedir.



Şekil 6.11: EKG işaretine ilişkin benzetim sonuçları: (a) Gürültüsüz işaret, (b) $SNR = 5$ dB olacak şekilde EKG işaretine eklenen BGG, (c) Gürültülü EKG işaretinden Wang (2016) yöntemi ile geri çatılan gürültüsüz EKG işareti, (d) Wang (2016) yöntemine dayalı olarak geri çatılan EKG işareti ile asıl işaret arasındaki farkın mutlak değerine karşı düşen hata işareti, (e) Önerilen yöntemeye dayalı olarak geri çatılan gürültüsüz EKG işareti, (f) Önerilen yöntemeye dayalı olarak geri çatılan EKG işareti ile asıl işaret arasındaki farkın mutlak değerine karşı düşen hata işareti



Şekil 6.12: EKG işareti için birbirinden bağımsız 50 program koşumu ile yöntemlerin ürettiği işaret geri çatımları için OKH ve İHO değerleri

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmasının birinci kısmında, geleneksel UFA yöntemine alternatif olabilecek UFA-Jaya ismi verilen yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşım yoluyla mevcut yöntemin eksik yanlarının giderilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada geleneksel UFA yönteminin kullandığı taban fonksiyonlarını oluşturan katsayı dizisinin genel ayar parametrelerinden başka parametrelere ihtiyaç duymayan sezgisel Jaya yöntemiyle bulunması amaçlanmıştır. Böylece, geleneksel yöntemin aksine durdurma kıstasına ve sözlük tanımlanmasına bağımlılık ortadan kalkmıştır. Önerilen yaklaşım ile işaretin en iyileyen geri çatılmasını sağlayan ayırıştırma seviyesinin bulunması otomatikleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarından anlaşılacağı üzere, Jaya en iyileme yönteminin iterasyon sayısı ve varlık büyüklüğü mükemmel bir şekilde yakalandığında, önerilen yaklaşımın hesaplama süresini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Bunların ötesinde, önerilen yaklaşım ile yumuşak geçişlere sahip işaretlerin temsili ve hesap süresi bağlamında daha iyi sonuç ürettiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle önerilen yaklaşım, muadili olan yöntemine alternatif olabilir.

Tezin ikinci kısmında, gürültünün varlığında UFA temelinde işaret geri çatımı için S-G süzgeçleme ile UFA-Jaya yaklaşımını birleştiren yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Asıl işarettaki ani geçişlere zarar vermeden gürültülü işaretten asıl işareti geri çatmak amacıyla S-G süzgeci, UFA-Jaya yönteminin her ayırıştırma seviyesinde elde edilen temel bileşenlerin toplamı üzerine uygulanarak gürültüsüz işaretin geri çatımı amaçlanmıştır. Benzetim sonuçları, BGG ile bozulmuş işaretten asıl işaretin geri çatımında, önerilen yaklaşımın mevcut yaklaşıma nazaran daha iyi başarıya sahip olduğunu göstermiştir.

Yeni bir işaret ayırıştırma yöntemi olarak UFA temelli çalışmalar mevcut durumda henüz çeşitlilik arz etmemektedir. UFA sonucu elde edilen işaret ile ilgili özellikleri ve bilgileri içerisinde barındıran temel bileşenler, sınıflandırma ve tanıma gibi uygulamalarda kullanılabilir. Dolayısıyla buna yönelik çalışmalara odaklanılabilir. Ayrıca bozucuların varlığında işaret geri çatımının başarımını artırmak amacıyla farklı süzgeçleme yöntemleri ile UFA bütünleştirilebilir.

8. KAYNAKLAR

Cohen, L., “*Time-Frequency Analysis*”, Prentice-Hall, NewYork, (1995).

Dorigo, M., ve Stutzle T., “*Ant Colony Optimization*”, Cambridge, MA: MIT Press, (2004)

Goldberg, D., “*Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*”, NewYork: Addison-Wesley (1989).

Goldberger A. L., “*PhysioBank, physiotookit, and physionet*”, *Circulation*, 101 (23), 215–220, (2000).

Huang, N. E., Long, S. R., Shen, Z., "The mechanism for frequency downshift in nonlinear wave evolution", *Adv. Appl. Mech.*, 32, 59-117C, (1996).

Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., ve diğ., "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis", *P. Roy. Soc. A-Math. Phy.*, 454 (1971), 903-995, (1998).

Karaboga, D. “*An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization*”, Technical Report-TR06. Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Kayseri, Turkey, (2005.)

Kennedy, V., Eberhart. R., “Particle Swarm Optimization”, *In Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, 1942–1948.

Kizilkaya, A. Elbi, M.D., ve Kirkbas, A., “Least-squares error based optimal signal reconstruction using time-varying weighted empirical mode decomposition”, *10th Int. Symp. Comm. Syst. Networks Digit. Signal Process. (CSNDSP)*, Prague, 1–6, (2016).

Kizilkaya, A., Elbi, M.D., “Optimal signal reconstruction based on time-varying weighted empirical mode decomposition”, *Comput. Elect. Eng.*, 57, 28–42, (2017).

Lee, K. S., Geem. W. Z., “A New Meta-heuristic Algorithm for Continuous Engineering Optimization: Harmony Search Theory and Practice”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194, 3902–3933, (2004).

Lin M., Tsai F., ve Yu C., “A Review of Deterministic Optimization Methods in Engineering and Management”, *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, (2012).

Mallat S. G. ve Zhang., "Matching pursuits with time-frequency dictionaries", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 41 (12), 3397-3415, (1993).

Proakis, G. J. ve Manolakis, G.D., “*Digital Signal Processing, Principles, Algorithms and Applications*”, New Jersey: Pearson Education, 224-300, (2010).

Qian, T, Yan-Bo W., and Dang P., "Adaptive Decomposition Into Mono-Components", *Advances in Adaptive Data Analysis*, 1 (4) 703-09, (2009).

Qian, T. "Characterization of Boundary Values of Functions in Hardy Spaces with Applications in Signal Analysis", *Journal of Integral Equations and Applications*, 17 (2), 159-98, (2005).

Qian, T. Zhang, L. and Li, Z., “Algorithm of adaptive Fourier decomposition”, *IEEE Trans. Signal Process.*, 59 (12), 5899–5906, (2011).

Qian, T., "Mono-components for decomposition of signals", *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 29 (10), 1187-198, (2006).

Qian, T., and Y. Wang. "Remarks On Adaptive Fourier Decomposition", *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, 11 (1), (2013).

R. V. Rao, "Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems", *Int. J. Ind. Eng. Comput.* 7 (1), 19–34, (2016).

Savitzky A. ve Golay M. J. E., "Soothing and differentiation of data by simplified least squares procedures", *Anal. Chem.*, 36, 1627–1639, (1964).

TIMIT Acoustic-Phonetic Continuous Speech Corpus, <https://catalog.ldc.upenn.edu/LDC93S1> (2012).

Wang, Z., "Adaptive Fourier Decomposition Approach to ECG Denoising", Master's Thesis, *Faculty of Science and Technology University of Macau*, Macau, China, (2014).

Yavuz, E., "İşaretlerin Seyrek Gösterilimi İçin Sözlük Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2011).

Zhang L., Hong W., Mai W., ve Qian T., "Adaptive Fourier decomposition and rational approximation–part II: Software system design and development", *Int. J. Wavelets Multiresolut. Inf. Process.*, 12 (5), (2014).

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali KIRKBAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : Sarıgöl / 09.09.1986
Lisans Üniversite : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Elektronik posta : alikirkbas@pau.edu.tr
İletişim Adresi : Irlıganlı mah. 1030/2 Sok. No:4 D:2 Pamukkale /
DENİZLİ

Konferans listesi :

• Kirkbas, A., Kizilkaya, Bogar, E., “Optimal basis pursuit based on Jaya optimization for adaptive Fourier decomposition”, *Proc. IEEE 40th Int. Conf. Telecommunications and Signal Processing (TSP 2017)*, Barcelona, Spain, 5-7 Jul. 2017, pp. 538-544.

• Kizilkaya, A., Kirkbas, A., Bogar, E., “Signal denoising based on adaptive Fourier decomposition”, *Proc. IEEE 21th Int. Conf. Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements and Applications (SPA 2017)*, 20-22nd Sep. 2017, Poznan, Poland.