



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS

**ADAPTİF FİLTRELER KULLANARAK KONUŞMA İŞARETLERİNDE
GÜRÜLTÜNÜN AZALTILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve Şeyma ARSLAN

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut HEKİM

TOKAT- 2024

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Mahmut HEKİM danışmanlığında hazırlamış olduğum “Adaptif Filtreler Kullanarak Konuşma İşaretlerinde Gürültünün Azaltılması” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

26 / 04 / 2024

Merve Şeyma ARSLAN



TEŐEKKÖR

Tez çalışmamın tamamlanmasında ve bu çalışmanın başarılı bir şekilde sunulmasında birçok kişiye minnettarım.

İlk olarak, danışmanım Prof. Dr. Mahmut HEKİM' e, akademik rehberliği ve değerli önerileri, için çok teőekkör ederim. Bu alışma, deneyim, bilgi ve desteği olmadan mümkün olmazdı.

Sevgili Annem Sevim ARSLAN ve biricik Babam Metin ARSLAN' a bizlere duydukları sonsuz güven için, sürekli destek ve teővikleri için teőekkör ediyor, minnetlerimi sunuyorum. Kız kardeşlerim Melis ve Melike'nin manevi ve teknik destekleri için de teőekkör ediyorum. Ayrıca süreçte desteklerini esirgemeyen kıymetli arkadaşım Kübra ALKAN'a teőekkörlerimi sunuyorum.



ÖZET

ADAPTİF FİLTRELER KULLANARAK KONUŞMA İŞARETLERİNDE GÜRÜLTÜNÜN AZALTILMASI

Arslan, Merve Şeyma

Yüksek Lisans, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut Hekim

Nisan 2024, XVII + 83 sayfa

İnsanlığın ve çağın iletişim ihtiyaçlarıyla birlikte konuşma işaretlerinin tanımlaması, iletim kalitesinde artışı sağlamak için konuşma işaretlerindeki gürültünün azaltılması, ayrıştırılması, çözülmesi gereken önemli bir konu haline gelmiştir. Toplu, kalabalık ve çeşitli gürültülerin olduğu ortamlarda yapılan konuşmaların, gerekli bilgi ve verilerin, istenen kişi, ses bazında kaydedilebilmesi, ayrıştırılması oldukça önemlidir.

Sesin modelleme, çeşitli özelliklerinin ve parametrelerinin belirlenmesi, bunlardan faydalanılarak konuşmanın veya konuşmacının tanınması, yapay konuşma oluşturulması bu alanda yapılan çalışmalar kapsamındadır. Ayrıca ses sıkıştırma ve açma yöntemlerinin geliştirilmesi, sesin kodlanması, gürültülü seslerin iyileştirilmesi konuları da ses işleme alanında yapılan çalışmalar arasındadır.

Gürültü, genel olarak insanları rahatsız eden her türlü ses olarak tanımlanabilir. Akustik, çevresel, elektriksel ve teknolojik kaynaklı gürültülerin yanı sıra elektromanyetik, iletişim hatları, kuantum ve ses iletişimindeki gürültüler gibi farklı türleri bulunmaktadır. Sesli iletişimlerdeki gürültü, iletilmek istenen sesin bozulmasına veya anlaşılabilir hale gelmesine neden olabilir, bu da iletişimi zorlaştırır veya etkisiz hale getirir. Gürültü, endüstriyel, bilimsel ve teknolojik uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla, gürültüyü kontrol etmek ve azaltmak, iletişimde ve diğer alanlarda verimliliği artırmak için önemlidir.

Gürültü, işaretler açısından ele alındığında, bazen belirli bir frekans bölgesinde bulunabilirken bazen frekans spektrumundaki konumu zamanla değişebilir. Sabit frekanslı gürültüyü azaltmak için genellikle belirli bir frekans bandını engelleyen (bant durduran) filtreler kullanılır. Ancak, gürültünün frekansı zamanla değişiyorsa, adaptif filtreler tercih edilir. Adaptif filtreler, gürültünün özelliklerine göre filtre katsayılarını sürekli olarak güncelleyen filtrelerdir. Adaptif filtrelerin kullanımı, konuşma işaretlerindeki gürültüyü azaltmak için etkili bir yöntem olarak

kabul edilir. Bu filtreler, gürültünün zamanla değişen karakteristiğine uyum sağlayabilir ve istenmeyen bileşenleri etkin bir şekilde bastırabilir.

Bu çalışmada konuşma işaretlerinde gürültünün azaltılması konusunu ele alırken öncelikle ses ve ses işaretleri ardından konuşma ve işaretlerinin oluşumu incelenmiştir. Sonrasında gürültü ve konuşma işaretlerindeki gürültü ele alınmıştır. Diğer kısımda ise adaptif filtrelerin yapısı, kullanım avantajları ve konuşma işaretlerindeki gürültü için kullanım türleri ele alınmıştır. Adaptif filtreleri kullanarak konuşma işaretlerinde gürültü azaltımını sağlamak için uygun algoritmaların geliştirilerek, Python programı üzerinde testlerinin gerçekleştirileceği bir yöntem izlenmiştir. İki farklı ortamda kayıt altına alınmış ses kayıtları, farklı filtrelerden geçirilerek gürültü azaltma başarıları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda, SNR değerinin düşük olduğu 0 dB seviyesinde, her iki filtrenin de sınırlı bir performans sergilediğini ortaya koymuştur. SNR değerinin 5 dB'e yükseltilmesiyle, her iki filtrenin de performansında iyileşmeler gözlemlenmiştir. SNR değerinin daha da artırıldığı 10 dB seviyesinde, her iki filtrenin de performansında önemli bir artış gözlemlenmiştir. Trafik gürültüsü ortamında Kalman filtresinin performansı genellikle alışveriş merkezi ortamından daha yüksek olmuştur. Ancak, düşük SNR değerlerinde RLS filtresi, özellikle alışveriş merkezi ortamında Kalman filtreden daha başarılı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Konuşma İşareti, Adaptif Filtre, Gürültü Azaltma, Kalman Filtresi, RLS Filtresi

ABSTRACT

NOISE REDUCTION IN SPEECH SIGNALS USING ADAPTIVE FILTERS

Arslan, Merve Seyma

Master's Thesis, Department of Electrical and Electronical Engineering

Thesis Advisor: Prof. Dr. Mahmut Hekim

April 2024, XVII + 83 pages

The need for communication in humanity and the current era has made the definition, transmission, and improvement of speech signals a crucial topic. Reducing, separating, and resolving noise in speech signals is essential, especially in noisy, crowded environments. This ensures that vital information and data can be recorded and extracted based on the intended recipient's voice.

The field of speech signal processing encompasses modeling the voice, identifying its various characteristics and parameters, recognizing speech or speakers, and creating artificial speech. It also involves developing methods for compressing and decompressing sound, encoding voice, and improving noisy sounds.

Noise can generally be defined as any kind of sound that disturbs people. In this context, various types of noise exist, including acoustic, environmental, electrical, and technological noise, as well as electromagnetic, communication line, quantum, and noise in sound communication. Noise in audio communications can distort or render the intended sound unintelligible, making communication difficult or ineffective. Noise plays a significant role in industrial, scientific, and technological applications. Therefore, controlling and reducing noise is important to enhance efficiency in communication and other fields.

When considering noise in terms of signals, it can sometimes be confined to a specific frequency range, while other times its position in the frequency spectrum may change over time. To reduce fixed-frequency noise, filters that block specific frequency bands (band-stop filters) are typically used. However, if the frequency of the noise changes over time, adaptive filters are preferred. Adaptive filters continuously update filter coefficients based on the characteristics of the noise. The use of adaptive filters is considered an effective method for reducing noise in speech signals. These filters can adapt to the changing characteristics of the noise and effectively suppress unwanted components.

In this study, the topic of noise reduction in speech signals is addressed by first examining sound and sound signals, followed by the formation of speech and its signals. Subsequently, noise and noise in speech signals are discussed. In the next section, the structure of adaptive filters, their usage advantages, and their application types for noise in speech signals are examined. A method is followed where appropriate algorithms are developed to reduce noise in speech signals using adaptive filters, and their tests are conducted on a Python program. Speech recordings made in two different environments are processed through various filters, and their noise reduction successes are analyzed. The results show that at a low SNR level of 0 dB, both filters exhibit limited performance. With an increase in the SNR level to 5 dB, improvements in the performance of both filters are observed. At an even higher SNR level of 10 dB, significant improvements in the performance of both filters are noted. In a traffic noise environment, the performance of the Kalman filter is generally higher compared to the shopping mall environment. However, at low SNR levels, the RLS filter performs better than the Kalman filter, especially in the shopping mall environment.

Keywords: Speech Signal, Adaptive Filter, Noise Reduction, Kalman Filter, RLS Filter.

İÇİNDEKİLER

ETİK SÖZLEŞME	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ/KURAMSAL TEMELLER/GENEL BİLGİLER	5
2.1. Ses ve Ses İşaretleri.....	10
2.1.1. Ses İşaretlerinde Enerji Dağılımı	12
2.1.2. Sesin Frekans Bileşenleri.....	13
2.1.3. Frekans Spektrum Analizi	14
2.2. Sesin Modellenmesi.....	15
2.2.1. Sesin Matematiksel Modellemesi	16
2.2.2. Mel-frekans cepstral katsayıları (MFCC)	17
2.3. Konuşma ve Konuşma İşaretleri.....	18
2.3.1. Konuşma Sürecinin Fiziksel ve Akustik Temellerinin İncelenmesi	19
2.3.2. Konuşma Üretiminde Yer Alan Konuşma Organlarının Modellenmesi.	20
2.3.3. Konuşma İşaretlerinin Temel Yapı Taşları Olan Fonemlerin ve Ses Birimlerinin Modellenmesi.....	22
2.4. Gürültü	23
2.4.1.1. Ses İşaretlerinde Gürültü	25
2.4.2. Frekans Spektrumu Karakteristiğine Göre Gürültü.....	27
2.5. Konuşma İşaretlerinde Gürültü.....	29
2.5.1. Konuşma İşaretlerinde Gürültü Giderme Yöntemleri	30
2.5.2. Gürültünün Konuşma İşaretlerine Olan Etkilerinin Analizi.....	30
2.6. Filtreler	31
2.6.1. Sonlu Dürtü Yanıtlı (FIR) Filtreler.....	31

2.6.2.	Sonsuz Dürtü Yanıtlı (IIR) Filtreler	32
2.7.	Adaptif Filtreler	33
2.7.1.	Adaptif Filtrelerin Genel Yapısı	34
2.7.2.	Adaptif filtrelerin Matematiksel Gösterimi:.....	36
2.8.	Adaptif Filtre Türleri	36
2.8.1.	En Küçük Kareler (Least Mean Squares- LMS) Filtresi	37
2.8.2.	Yinelemeli En Küçük Kareler (Recursive Least Squares-RLS) Filtresi	37
2.8.3.	Adaptif Fourier Dönüşümü (Adaptive Fourier Transform- AFT)	39
2.8.4.	Wiener Filtresi.....	41
2.8.5.	Kalman Filtresi	42
2.9.	Ses İşaretlerinde Performans Ölçümü.....	44
3.	MATERYAL ve YÖNTEM	46
3.1.	Sistem Tasarımı	46
3.2.	Veri Toplama	47
3.3.	Geliştirme Ortamı.....	47
3.4.	Veri.....	48
3.4.1.	Kullanılan Ses İşaretlerinin İncelenmesi.....	48
3.4.2.	Konuşma İşaretlerindeki Gürültüler için Adaptif Filtrelerin Kullanılması	52
3.5.	Adaptif Filtrelerin Konuşma İşaretlerine Uygulanması	53
3.5.1.	Kalman Filtresinin Uygulanması	53
3.5.2.	RLS Filtresinin Uygulanması	55
4.	BULGULAR ve TARTIŞMA.....	58
4.1.	Kalman Filtresi Uygulanmış İşaretlerin Analizi.....	58
4.1.1.	avm.wav Ses İşareti.....	58
4.1.2.	trafik.wav Ses İşareti	60
4.2.	RLS Filtresi Uygulanmış İşaretlerin Analizi.....	62
4.2.1.	avm.wav Ses İşareti.....	62
4.2.2.	trafik.wav Ses İşareti	64
4.3.	SNR (İşaret-Gürültü Oranı Analizi).....	66
4.3.1.	avm.wav Ses İşaretinin Uygulanan Filtreler Sonucu Analizi	66
4.3.2.	trafik.wav Ses İşaretinin Uygulanan Filtreler Sonucu Analizi	69

4.4. SNR Sonuçları.....	74
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	76
6. KAYNAKÇA.....	78



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3. 1. Örnek Veri Seti	47
Tablo 3. 2. Geliştirme Ortam Özellikleri	47
Tablo 4. 1. Kalman ve RLS Filtrelerinin Ses İşaretleri Üzerindeki Etkinliği	74
Tablo 4. 2. Kalman ve RLS Filtrelerinin Ses İşaretleri Üzerindeki Etkinliği Diyagramı	75



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Ses İşaretleri(appen.com)	11
Şekil 2. 2. Sesli ve sessiz işaretler ve frekans cevapları (Meral, 2008)	13
Şekil 2. 3. Hanning Penceresi Yöntemi ile Sesin Matematiksel ve Fiziksel Gösterimi (Otsuru, 2016).....	17
Şekil 2. 4. Konuşma, İletimi,Algılanması (bilimgenç.tubitak)	19
Şekil 2. 5. İnsan vokal sisteminin çalışma şekli (Meral, 2008).....	21
Şekil 2. 6. Gürültü(aksaakustik.com)	24
Şekil 2. 7. Gürültülü Ses İşareti(duymak.com)	26
Şekil 2. 8. Adaptif Filtre Yapısı (Çolak,2019)	35
Şekil 2. 9. Kalman Filtresi Yapısı	42
Şekil 3. 1. Konuşma İşaretinin Adaptif Filtreleme Süreci	46
Şekil 3. 2. Ses İşaretlerinin İncelenmesi	48
Şekil 3. 3. temiz.wav Ses İşaretlerinin Dalga Formu	49
Şekil 3. 4. temiz.wav Ses İşaretlerinin Spektrumu.....	49
Şekil 3. 5. temiz.wav Ses İşaretlerinin Frekans Analizi	49
Şekil 3. 6. temiz.wav Ses İşaretlerinin Dalga Boyu Analizi	50
Şekil 3. 7. avm.wav Ses İşaretlerinin Dalga Formu	50
Şekil 3. 8. avm.wav Ses İşaretlerinin Spektrumu.....	50
Şekil 3. 9. avm.wav Ses İşaretlerinin Frekans Analizi	51
Şekil 3. 10. avm.wav Ses İşaretlerinin Dalga Boyu Analizi	51
Şekil 3. 11. trafik.wav Ses İşaretlerinin Dalga Formu	51
Şekil 3. 12. trafik.wav Ses İşaretlerinin Spektrumu	52
Şekil 3. 13. trafik.wav Ses İşaretlerinin Frekans Analizi	52

Şekil 3. 14. trafik.wav Ses İşaretlerinin Dalga Boyu Analizi	52
Şekil 3. 15. Kalman Filtresi Uygulama	54
Şekil 3. 16. RLS Filtresi Uygulama	57
Şekil 4. 1. Kalman Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Giriş-Çıkış Dalga Formu	58
Şekil 4. 2. Kalman Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Dalga Formu.....	58
Şekil 4. 3. Kalman Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Spektrumu	59
Şekil 4. 4. Kalman Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Frekans Analizi.....	59
Şekil 4. 5. Kalman Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Dalga Boyu Analizi	59
Şekil 4. 6. Kalman Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Giriş-Çıkış Dalga Formu ..	60
Şekil 4. 7. Kalman Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Dalga Formu	60
Şekil 4. 8. Kalman Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Spektrumu.....	61
Şekil 4. 9. Kalman Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Frekans Analizi.....	61
Şekil 4. 10. Kalman Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Dalga Boyu Analizi	61
Şekil 4. 11. RLS Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Giriş-Çıkış Dalga Formu	62
Şekil 4. 12. RLS Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Dalga Formu	62
Şekil 4. 13. RLS Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Spektrumu.....	63
Şekil 4. 14. RLS Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Frekans Analizi.....	63
Şekil 4. 15. RLS Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Dalga Boyu Analizi	63
Şekil 4. 16. RLS Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Giriş-Çıkış Dalga Formu	64
Şekil 4. 17. RLS Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Dalga Formu	64
Şekil 4. 18. RLS Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Frekans Analizi	65
Şekil 4. 19. RLS Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Frekans Analizi	65
Şekil 4. 20. RLS Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Dalga Boyu Analizi.....	65
Şekil 4. 21. Filtreleme Yapılmamış avm.vaw Ses İşareti SNR.....	66

Şekil 4. 22. Filtreleme Yapılmamış avm.vaw Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri	66
Şekil 4. 23. Kalman Filtrelenmiş avm.vaw Ses İşareti SNR.....	67
Şekil 4. 24. Kalman Filtrelenmiş avm.vaw Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri	67
Şekil 4. 25. RLS Filtrelenmiş avm.vaw Ses İşareti SNR	68
Şekil 4. 26. RLS Filtrelenmiş avm.vaw Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri.....	69
Şekil 4. 27. Filtreleme Yapılmamış trafik.vaw Ses İşareti SNR	70
Şekil 4. 28. Filtreleme Yapılmamış trafik.vaw Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri	70
Şekil 4. 29. Kalman Filtrelenmiş trafik.vaw Ses İşareti SNR	71
Şekil 4. 30. Kalman Filtrelenmiş trafik.vaw Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri.....	71
Şekil 4. 31. RLS Filtrelenmiş trafik.vaw Ses İşareti SNR	72
Şekil 4. 32. Filtreleme Yapılmamış trafik.vaw Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri	73

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

MCLP	: Çok Kanallı Doğrusal Tahmin
GSC	: İptal Edici Yöntem
SC	: Yan Lob İptali
LP	: Doğrusal Tahmin
ISCLP	: Entegre Yan Lob İptali ve Doğrusal Tahmin
HA	: İşitme Cihazları
SI	: Konuşma Anlaşılabilirliği
NR	: Gürültü Azaltma
IWF	: İdeal Wiener Filtresi
IBM	: İdeal İkili Maske
HI	: İşitme Engelli
NSIM	: Nörogram Benzerlik Metriği
MWF	: Çok Kanallı Wiener Filtresi
IC	: Kulaklar Arası Tutarlılık
MVDR	: Minimum Varyanslı Distorsiyonsuz Yanıt
MWF-N	: Kısmi Gürültülü MWF
MVDR-N	: Kısmi Gürültülü MVDR
MSC	: İstenen Büyüklüğün Karesi Tutarlılığı
MKF	: Çok Kanallı Kalman Filtreleme
TF	: Zaman-Frekans
PMKF	: Parametrik Modülasyon Alanı MKF'si
MMSE	: Minimum Ortalama Kare Hata
SDW-MWF	: Konuşma Distorsiyonu Ağırlıklı Çok Kanallı Wiener Filtresi

HRIR	: Başla İlgili Dürtü Yanıtları
SDW	: Ağırlıklı Konuşma Distorsiyonu
IFWF	: Çerçeveler Arası Wiener Filtreleri
IFC	: Çerçeveler Arası Korelasyon
HRFB	: Yüksek Çözünürlüklü Filtre Bankası
PESQ	: Konuşma Kalitesinin Algısal Değerlendirmesi
SNR	: İşaret-Gürültü Oranı
MFCCs	: Mel-Frekans Spektrum Katsayıları
RNNs	: Reküran Sinir Ağları
CNNs	: Evrişimli Sinir Ağları
LSTM	: Uzun Kısa Vadeli Bellek
DCT	: Ayrık Kosinüs Dönüşümü
HMM	: Gizli Markov Modeli
DNN	: Derin Sinir Ağı
RF	: Radyo Frekans
dB	:Desibel
IIR	: Sonsuz Dürtü Yanıtlı
FIR	: Sonlu Dürtü Yanıtlı
LMS	: En Küçük Kareler
RLS	: Yinelemeli En Küçük Kareler
AFT	: Adaptif Fourier Dönüşümü
STFT	: Kısa zamanlı Fourier Dönüşümü
MLP	: Çok Katmanlı Algılayıcılar
EKF	: Extended Kalman Filter (Genişletilmiş Kalman Filtresi)

UKF	: Unscented Kalman Filteresi
NLMS	: Normalleştirilmiş En Küçük Ortalama Kare
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü
THD	: Toplam Harmonik Bozulma
AOM	: Akusto-Optik Modülatör
OTDR	: Optik Zaman Alanı Reflektometresi
CI	: Koklear İmplant
MSE	: Ortalama Kare Hatası
SRMR-CI	: Koklear İmplantlar için Spektral Azalma Modülasyon Hızı
ESTOI	: Genişletilmiş Kısa Süreli Objektif Anlaşılabilirlik Ölçümü
WF	: Weiner Filtresi
MSD	: Ortalama Kare Sapması

1. GİRİŞ

İletişimin en temel ihtiyaçlardan olduğu bu dönemde bilgi aktarımı, elektronik işaretler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu işaretler çok çeşitli döngülerle bir uçtan bir uca iletilir. Zaman zaman, ortam bir tel kablodur. Zaman zaman hava, su veya hatta uzayın sonsuz sakinleri olabilir. Bazen çok karmaşık veya çok basit olan bilgi, bazen tekdüze bir işaret ya da değişkenlerden oluşur. Her ne olursa olsun ya da hangi taramadan geçerse geçsin, aktarılan bilgi hemen her zaman istenmeyen başka işaretlere karışır. Bu tür istenmeyen işaretler gürültü olarak adlandırılır.

Ses dalgaları genellikle basınç dalgalanmaları olarak yayılır ve bir ortamda bulunan parçacıkları sıkıştırır ve seyreder. Bu dalgalanmalar, bir ses kaynağından çıkar ve bir alıcıya ulaşırken birçok farklı özellik sergileyebilir, bu özellikler frekans, genlik, faz ve form gibi çeşitli faktörlerle belirlenir (Hildebrand ve ark., 2020). Ses işaretleri ise bir voltaj dalgası veya dijital bir işaret olarak ifade edilir. Ses dalgalarının fiziksel olarak algılanabilir titreşimlerini elektronik sinyallere dönüştürmek veya tersine dönüştürmek için kullanılır.

Gürültü, çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir ve genellikle sistemdeki enerji kaynağının çalışmasından, elemanların faaliyetinden, işaret iletiminden veya doğal ortamdan kaynaklanan atmosferik etkenlere kadar bir dizi etkenin birleşimi sonucunda ortaya çıkar. Örneğin, hava iletimli işaretler üzerinde iki ana gürültü kaynağı bulunmaktadır. İlk olarak, uzaydan gelen ışımalardan veya atmosferik olaylardan doğal olarak kaynaklanan gürültüdür. İkincisi, hava iletilen diğer işaretler arasında oluşan elektromanyetik gürültüdür, bu da genellikle yüksek frekanslı bir başka frekansın karışması sonucu ortaya çıkar. Bu durum, özellikle orta dalga veya uzun dalga radyo yayınlarında önemli bir sorun teşkil etmektedir (Vageshi, 2006).

Örneğin, bir taşıtta orta veya uzun dalga radyo yayını dinlenirken, yüksek gerilim hatlarına yaklaşılmaması durumunda, yüksek gerilim hattının üretebileceği yoğun elektromanyetik dalgaların etkisiyle yayın kesilebilir. Bu tür etkileşimler, yüksek gerilim hattının geçildikten sonra ortadan kalkana kadar dinlemeyi engelleyebilir. Bu durum, herhangi bir nedenle oluşan gürültünün bilgi kaybına neden olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, bilinçli olarak işaretlere gürültü eklenen durumlar da mevcuttur ki bu genellikle "şifreleme" olarak adlandırılır. Bu durumda, iletilen işaretin üzerine, yayını yapan kurum tarafından belirlenen bir frekansta yüksek frekanslı başka bir işaret eklenir. İşaret alıcılara

ulaşılabile, bu eklenen gürültü nedeniyle, çözücü olmadan görüntü ve/veya ses anlaşılabilir hale gelir. Özellikle İkinci Dünya Savaşı sırasında, Amerika Birleşik Devletleri tarafından geliştirilen bu şifreli yayın sistemleri, telsiz iletişiminde kullanılmıştır. Bu dönemde, elektronik teknoloji henüz gelişmemiş olduğundan, bu tür şifreli yayınlar karşı kuvvetler tarafından deşifre edilemiyordu. Günümüzde özellikle askeri, güvenlik veya yasa uygulama amaçları için kullanılan sinyal bozucu sistemleri de istenmeyen işaretleri yaratma veya belirli frekans aralıklarındaki iletişimi engelleme prensibi üzerine çalışırlar. Gürültü, bazen özel amaçlar için gereklilik arz etse de genellikle istenmeyen bir durumdur.

Adaptif sistemler, çevresel koşullara göre otomatik olarak kendini optimize eden sistemlerdir. Bu tür sistemler, özellikle haberleşme ve kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Adaptif sistemlerin belirgin özelliği, zaman içinde değişen koşullara uyum sağlama kabiliyeti ve yeni durumları algılayarak kendini otomatik olarak ayarlayabilme yeteneğidir (Bellanger, 2001).

Haberleşme sistemlerinde adaptif sistemler, kanal koşullarındaki değişikliklere uyum sağlamak için kullanılır. Örneğin, bir radyo iletişim sistemi, işaret gücündeki dalgalanmalar veya gürültü seviyelerindeki değişikliklere adapte olabilen adaptif bir sistem içerebilir. Bu, iletişim kalitesini artırabilir ve işaret bozulmalarını en aza indirebilir.

Kontrol sistemlerinde ise adaptif sistemler, sistem parametrelerindeki değişikliklere veya belirsizliklere tepki verebilir. Bir otomobilin süspansiyon sistemi, yoldaki değişen koşullara adapte olmak için adaptif kontrol sistemleri kullanabilir. Bu sayede, sürüş konforu ve güvenliği artırılabilir.

Adaptif sistemlerin esnekliği, onları yeni durumlar ve çevresel koşullarla başa çıkabilen güçlü araçlar haline getirir (Lee ve ark., 2009). Bu özellik, özellikle gerçek dünya uygulamalarında, değişkenlik gösteren çevresel faktörlerle başa çıkabilme yetenekleriyle birlikte, sistemlerin performansını artırmada kritik bir rol oynar.

Ses işleme teknolojisinin hızla gelişmesi, tıp elektroniği, radar sistemleri, güvenlik, haberleşme teknolojileri, doğal afetler, ortam dinlemeleri ve yer tespiti gibi alanlarda önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu teknolojinin etkin bir şekilde kullanılması, dinlenen sesin gürültüden arındırılması ve işlem süresinin kısaltılması gibi kritik ihtiyaçlara karşı çözümler sunmaktadır.

Tıp elektroniğinde, hastaların sağlık durumlarını izlemek ve teşhis koymak amacıyla kullanılan cihazlar genellikle hassas ölçümler gerektirir. Ses işleme teknolojisi, bu cihazlarda elde edilen ses verilerini analiz ederek, istenmeyen gürültüleri filtreleyerek daha net ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanır. Bu sayede, tıbbi teşhislerin doğruluğu artar ve hastaların tedavi süreçleri daha etkili bir şekilde yönetilebilir.

Radar sistemleri ve güvenlik uygulamalarında, ses işleme teknolojisi, hedef nesnelerin belirlenmesi ve izlenmesi sürecini optimize eder. Gelişmiş algoritmalar sayesinde, gürültüden arındırılmış ses verileri, daha hassas ve güvenilir hedef tespitine olanak sağlar. Bu özellikle savunma sanayiinde, sivil havacılıkta ve güvenlik sistemlerinde kritik öneme sahiptir.

Haberleşme teknolojilerinde, ses işleme, iletişim kanallarındaki gürültüyü azaltarak iletişim kalitesini artırır. Bu, özellikle yoğun ve gürültülü ortamlarda kesintisiz iletişimi sağlamak için önemlidir. Ses işleme algoritmaları, iletişim cihazları arasındaki ses işaretlerini optimize ederek, net ve anlaşılır bir iletişim deneyimi sunar.

Doğal afetler, ortam dinlemeleri ve yer tespiti gibi alanlarda, ses işleme teknolojisi, anlık verilerin hızlı ve etkili bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır. Bu sayede, acil durum yönetimi, kurtarma operasyonları ve yer tespiti uygulamaları daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ses işleme teknolojisinin bu alanlardaki kullanımı, hayati önem taşıyan süreçleri hızlandırarak insan güvenliğini artırır.

Sonuç olarak, ses işleme teknolojisi, farklı sektörlerdeki çeşitli ihtiyaçlara yönelik geliştirilen yenilikçi çözümleriyle, modern teknolojinin başarıları arasında önemli bir yer edinmiştir. Gürültüden arındırılmış ses verileri, hızlı işlem süreleri ve gelişmiş analitik yetenekler, bu teknolojiyi kritik uygulamalarda vazgeçilmez kılmaktadır (Hildebrand ve ark., 2020).

İletişim, sağlık ve güvenlik gibi çeşitli alanlarda ses işleme ve sesin gürültülerden arındırılması büyük önem taşımaktadır. Bu gereksinimleri karşılamak amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, farklı ortamlarda kayıt altına alınmış ses işaretlerine adaptif filtreler olan Kalman ve RLS (Recursive Least Squares) filtreleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmada, adaptif filtrelerin değişen gürültü seviyelerine uyum sağlama özellikleri göz önünde bulundurularak çeşitli testler yapılmıştır. Kalman filtresi, mevcut durumu ve ölçüm verilerini kullanarak gürültüyü minimize etmeyi hedeflerken, RLS filtresi en küçük kareler yöntemi ile hatayı minimize etmeyi amaçlamaktadır. Her iki filtrenin performansı incelenmiş ve ses işleme süreçlerindeki etkinlikleri analiz edilmiştir.

Literatür Özetleri/Kuramsal Temeller/Genel Bilgiler bölümünde, adaptif filtrelerin kullanımına ve gürültü giderimi üzerine yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu bağlamda, ses, ses işaretleri, konuşma, konuşma işaretleri, gürültüler, konuşma işaretlerindeki gürültüler, filtreler ve adaptif filtreler hakkında genel bilgiler sunulmuş; Kalman ve RLS filtrelerine dair teorik temeller ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Materyal ve Yöntemler bölümünde ise, iki farklı gürültü ortamında kayıt altına alınmış ses işaretlerine uygulanan Kalman ve RLS filtrelerinin uygulama yöntemleri ve elde edilen sonuçlar grafiksel olarak ele alınmıştır. Sonuçlar bölümünde, yapılan testlerin sonuçları ve bu testlerden elde edilen grafikler incelenmiş ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.



2. LİTERATÜR ÖZETLERİ/KURAMSAL TEMELLER/GENEL BİLGİLER

Koning ve ark., (2018), çalışmalarında, en son teknolojiye sahip işitme cihazları (HA'lar), gürültülü dinleme ortamlarında zayıf konuşma anlaşılabilirliği (SI) eksikliğini gidermek amacıyla dijital gürültü azaltma (NR) tekniklerini kullanmıştır. Bu teknikler arasında, gürültülü ses girişine zaman-frekans maskelerinin uygulanması, SI'yı artırmak için yaygın bir NR yöntemidir. İkili maske ve Wiener filtresi, zaman-frekans maskeleme için kullanılan ikili ağırlıklı ve sürekli ağırlıklı karar yaklaşımlarının temsilcileridir. Normal işiten dinleyicilerde ideal Wiener filtresi (IWF), çok düşük işaret-gürültü oranlarında bile mükemmel SI sağlar ve SI ile konuşma kalitesi açısından ideal ikili maske (IBM)'den daha iyi performans gösterir. Bu çalışmada, işitme engelli (HI) dinleyiciler için her iki yaklaşım da incelenmiştir. Değerlendirme için algısal ve işitsel model bazlı ölçümler kullanılmıştır. IWF'nin SI açısından IBM'den daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Kalite açısından algılanan NR algoritmaları arasında genel bir fark tespit edilememiştir. Ayrıca, işlenen işaretler, nörogram benzerlik metriği (NSIM) kullanılarak işitsel sinir modeline göre değerlendirilmiştir. Ortalama NSIM değerleri anlaşılır ve anlaşılmasız cümleler için anlamlı derecede farklı olmuştur. Sonuçlar, yumuşak maskenin HA'larda uygulama için umut verici görüldüğünü göstermektedir.

Marquardt ve Doclo (2018), çalışmalarında, binaural (iki taraflı kulak iletimi sağlayan) konuşmayı iyileştirme algoritmalarının temel amacı, arzu edilen konuşma kaynağını ve diğer ses kaynaklarının binaural ipuçlarını korurken, istenmeyen gürültü bileşenini azaltmaktır. Yaygın bir gürültülü ortamda tek bir konuşma kaynağını ele almak için, çift mikrofonlu çok kanallı Wiener filtresi (MWF) veya MWF-IC adlı bir uzantısı önerilmiştir, bu da sesin kulaklar arası tutarlılığını (IC) korumayı amaçlamaktadır. Ancak, MWF-IC'nin büyük hesaplama karmaşıklığı nedeniyle, bu makalede daha düşük karmaşıklıkta birkaç alternatif algoritma önerilmiştir. İlk olarak, MWF-IC'nin daha düşük karmaşıklıkta bir versiyonu olan minimum varyanslı distorsiyonsuz yanıt (MVDR-IC) ele alınmıştır. İkinci olarak, kısmi gürültü tahminiyle çift mikrofonlu MWF (MWF-N) ve kısmi gürültü tahminiyle çift mikrofonlu MVDR hüzmeye oluşturunucusu (MVDR-N) kullanılarak gürültü bileşeninin IC'sini korumayı önermişlerdir. MVDR-N için, çıkış gürültüsü bileşeni için istenen büyüklüğün karesi tutarlılığını (MSC) sağlayan ödünleşim parametresi için kapalı bir ifade türetilebileceğini göstermişlerdir. MWF-IC ve MWF-N'nin aksine, MVDR-IC ve MVDR-N, konuşma ve gürültü bileşenlerinin spektro-zamansal özelliklerini dikkate almadığından, filtre çıkışlarına bir spektral son filtre uygulama önerilmiştir. Tüm algoritmaların performansı çeşitli yaygın gürültü

senaryolarında karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, hem MVDR-IC hem de MVDR-N'nin gürültü bileşeninin MSC'sini koruyabildiğini, genel olarak MVDR-IC'nin daha büyük bir karmaşıklıkta biraz daha iyi bir gürültü azaltma performansı gösterdiğini göstermektedir. Ayrıca, simülasyon sonuçları, spektral bir son filtre uygulamasının, gürültü azaltma ve konuşma bozulması açısından dikkate alınan tüm algoritmalar için çok benzer bir performansa yol açtığını göstermektedir.

Andersen ve Moonen (2018), çalışmalarında konuşma distorsiyonu ağırlıklı (SDW) çerçeveler arası Wiener filtreleri (IFWF'ler) ele alınarak, bir filtre bankası yapısında tek kanallı gürültü azaltımı için araştırma yapmışlardır. Bu filtreler, gürültü azaltma ile konuşma bozulması arasındaki dengeyi belirleyen μ parametresini kullanır ve genellikle çok kanallı uygulamalarda SDW çok kanallı Wiener filtresi terimi altında kullanılır. SDW-IFWF'lerin uygulanması, çerçeveler arası korelasyon (IFC) katsayılarının tahminine dayanır. IFC katsayılarının daha sağlam bir şekilde tahmin edilebileceği gösterilmiştir, bunun için ikincil bir yüksek çözünürlüklü filtre bankası (HRFB) kullanılmıştır. Daha sonra, birincil filtre bankasında optimum olan gerçek değerli skaler kazançların, birincil filtre bankasındaki çerçeveler arası filtreleme yerine doğrudan HRFB'de nasıl uygulanabileceği gösterilmiştir, bu da μ 'nin herhangi bir değeri için daha sağlam bir gürültü azaltma performansı sağlar Matris ters çevirmelerinden kaçınıldığı ve gerçek uygulamada birincil filtre bankasına ihtiyaç duyulmadığı için bu kazançların hesaplanması da daha ucuzdur. Önerilen yöntemler, segmental SNR ve objektif PESQ gibi ölçümler kullanılarak ilgili referans yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen yöntemlerin iddialarını desteklemektedir.

Deietzen ve ark., (2020), makalelerinde, çok mikrofona konuşma geliştirmesi bağlamında, yankılanma yanı sıra ilave gürültü ve/veya parazitli konuşma problemlerini çözmek amacıyla ters evrişim ve uzaysal filtreleme yöntemlerini kullanmıştır. Örneğin, çok kanallı doğrusal tahmin (MCLP) ve ışın oluşturma gibi tekniklerle bu sorunları bastırmışlardır. Ayrıca, iptal edici (GSC) yöntemleri de kullanmışlardır. Yankılanan konuşma bileşenlerinin bazılarının giderilmesi ve diğerlerinin iptal edilmesinin yanı sıra, genel gürültü bileşenlerinin bastırılması konusu ele alınmıştır. MCLP ve GSC'nin hem ters evrişimini hem de uzaysal filtrelemesini gerçekleştirmek için, entegre yan lob iptali ve doğrusal tahmin (ISCLP) adı verilen yeni bir mimari önerilmiştir. Bu mimari, yan lob iptali (SC) filtresi ve doğrusal tahmin (LP) filtresini paralel olarak ancak farklı mikrofona işaret çerçevelerinde çalıştırmaktadır. ISCLP'de, her iki filtreyi tek bir Kalman filtresi aracılığıyla ortaklaşa tahmin etmektedir. Ayrıca, önerilen ISCLP

Kalman filtresi ile ilişkilendirilmiş bir spektral Wiener kazançlı son işlemci önerilmiştir. ISCLP Kalman filtresi, iki son teknoloji yaklaşıma göre karşılaştırılmıştır. İlk yaklaşım, yankı giderme ve gürültü azaltma işlemlerini sırasıyla gerçekleştiren bir çift alternatif Kalman filtresi içermektedir. İkinci yaklaşım ise bir MCLP+GSC Kalman filtre kademesini içermektedir. Elde edilen sonuçlar, ISCLP Kalman filtresinin, mikrofon sayısını ifade eden M 'nin her iki referans algoritmasına kıyasla maliyet açısından daha verimli olduğunu, benzer veya daha iyi performans sergilediğini göstermektedir.

Xue ve ark., (2021), çalışmalarında, konuşma iyileştirme amacıyla geliştirilen bir modülasyon alanı çok kanallı Kalman filtreleme (MKF) algoritmasını daha da genişletmişlerdir. Yakın zamanda sunulan MKF algoritması, temiz konuşma işaretini tahmin etmek için konuşmanın çerçeveler arası modülasyon alanı zamansal evrimi ve kanallar arası uzaysal korelasyonu ortaklaşa kullanmaktadır. Bu genişletilmiş versiyon, konuşma geliştirme davranışını daha esnek kontrol edebilmek amacıyla her zaman-frekans (TF) bölmesindeki konuşma iyileştirme davranışını yöneten bir parametre içermektedir. Bu versiyon, Parametrik Modülasyon Alanı MKF'si (PMKF) olarak adlandırılmaktadır. MKF maliyet fonksiyonunun ayrıştırılmasına dayanarak, PMKF için gürültü azaltma ve konuşma distorsiyonu terimlerini ağırlıklandırmak için bir kontrol parametresi önerilmiştir. Optimum PMKF kazancı, minimum ortalama kare hata (MMSE) kriteri kullanılarak belirlenir. Önerilen PMKF'nin performansı analiz edilmekte ve bu algoritmanın konuşma distorsiyonu ağırlıklı çok kanallı Wiener filtresiyle (SDW-MWF) olan ilişkisi gösterilmektedir. Kontrol parametresinin konuşma iyileştirme performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için, kontrol parametresinin her TF bölümünde uyarlanabilir şekilde seçildiği PMKF konuşma iyileştirme sistemleri de önerilmiştir. Deneyler, başla ilgili dürtü tepkisi (HRIR) veri tabanında farklı gürültülü ve yankılanan koşullarda gerçekleştirilmiş ve önerilen yöntemin etkinliğini göstermiştir.

Çolak ve Akdeniz (2021), çalışmalarında, kısa süreli enerji, periyodiklik ve spektral düzlük gibi özellikler kullanılarak bir ses aktivitesi tespit tekniği tasarlamıştır. Bu üç özellik sayesinde, düşük işaret/gürültü oranı değerlerinde bile istenilen sonuçlar elde edilebilmiştir. Ayrıca, Wiener konuşma distorsiyonu ağırlıklı, uzaysal tahmin, minimum varyanslı distorsiyonsuz yanıt gibi çok kanallı gürültü azaltma algoritmalarının performansı, önerilen ses aktivite tespiti kullanılarak karşılaştırılmıştır. Deneyde, iki farklı ses işareti ve üç farklı gürültü türü kullanılmıştır. Önerilen ses aktivitesi tespit algoritması ile, gürültülü konuşma ve sadece gürültülü alanların tespiti başarıyla gerçekleştirilmiştir. Gürültülü konuşma ve yalnızca

gürültülü alanların tespit edilmesinden sonra, kullanılan her bir filtre algoritması için filtre katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan filtre katsayıları, referans mikrofondan alınan işaretin frekans bileşenleriyle çarpılarak geliştirilmiş bir işaret elde etmek için kullanılmıştır. Filtrelerin performansını değerlendirmek için objektif bir yöntem olan segmental işaret/gürültü oranı ve subjektif bir yöntem olarak ortalama görüş puanı kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, konuşma distorsiyonu ağırlıklı Wiener filtresinin gürültü azaltma performansı açısından en iyi filtre olduğu belirlenmiştir.

Jain ve Beniwal (2022), çalışmalarında, uyarlanabilir filtre algoritmalarını kullanan gelişmiş gürültü engelleme sistemlerine odaklanarak, geçmişten günümüze yapılan araştırmalar incelenmiştir. Uyarlanabilir gürültü engelleme, iletişim alanında geniş bir araştırma konusudur ve özellikle konuşma sinyallerindeki gürültünün azaltılması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok uygulamada, alınan sinyallerdeki değişim hızlı olabilir ve bu da hızla yakınsayan uyarlanabilir algoritmaların kullanılmasını gerektirebilir. Makale, konuşma sinyallerindeki gürültünün etkin bir şekilde iptal edilmesine odaklanarak, daha az hesaplama karmaşıklığı ile verimli performans sağlayan En Küçük Ortalama Kare (LMS) uyarlamalı algoritmalarına odaklanmaktadır. LMS algoritmaları, adaptif filtreleme yöntemlerinin temelini oluşturur ve gerçek zamanlı uygulamalarda sıkça tercih edilir. Bu makale, LMS uyarlamalı algoritmalarının kullanımının artan bir eğilim olduğunu vurgulamakta ve iletişim sistemlerinde gürültü azaltma performansının artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu tür algoritmalar, karmaşık hesaplama işlemlerinden kaçınarak düşük işlem gücü gereksinimleriyle pratik uygulamalarda kullanılabilirler.

Yu ve ark., (2022) çalışmalarında, dağıtılmış optik fiber titreşim algılama sisteminde gürültüyü daha iyi azaltmayı amaçlayan, titreşim algılamanın genel sinyal-gürültü oranını (SNR) iyileştirmek için uyarlanabilir bir öngörücü filtreleme algoritması önermiştir. Bu bağlamda, çift AOM'lu heterodin tespitine dayanan faza duyarlı bir optik zaman alanı reflektometrik (Φ -OTDR) sistemi üzerinde yapılan çalışmada, yüksek örnekleme hızına sahip veri toplama donanımının gereksinimini azaltmak için özel bir tasarım yapılmıştır. Ayrıca, normalleştirilmiş en küçük ortalama kareye (NLMS) dayalı bir uyarlanabilir tahmin gürültü azaltma yöntemi, sistemin SNR'sini iyileştirmek için benimsenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre, önerilen algoritmanın SNR'yi 8.14 dB'den 22.31 dB'ye yükselttiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, hareketli fark ortalama yöntemi, dalgacık gürültü giderme yöntemi ve Prewitt kenar algılama yöntemi gibi diğer gürültü azaltma yöntemleriyle karşılaştırıldığında, önerilen

uyarlanabilir tahmin gürültü azaltma algoritmasının en yüksek SNR'ye sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, özellikle güçlü bir gürültü ortamında rahatsızlık tespiti gibi uygulamalar için potansiyel bir kullanım alanı sağlayabilir. Φ -OTDR sisteminin uyarlanabilir tahmin gürültü azaltma algoritmasıyla birleştirilmesi, bu tür sistemlerin daha güvenilir ve etkin bir şekilde çalışmasına olanak tanımaktadır.

Poluboina ve ark., (2023), Koklear implant (CI) kullanıcılarının gürültülü ortamlarda konuşmayı daha iyi anlamalarını sağlamak için yeni bir ön işleme yöntemi önermiştir. Çoğu CI sistemi, konuşmayı sadece zamansal zarflarla kodladığından, gürültülü ortamlarda konuşma algısı optimal düzeyde değildir. Ayrıca, mevcut CI sinyal kodlama stratejileri genellikle karmaşık ön işleme adımlarından yoksundur. Önerilen gürültü azaltma tekniği, geliştirilmiş konuşmanın zamansal zarfları ile temiz konuşma arasındaki ortalama kare hatasını (MSE) en aza indirerek gürültüdeki konuşmanın anlaşılabilirliğini artırmayı hedeflemektedir. Bu yöntem, CI uygulamaları için uygun olabilir. Çalışma, gürültü bastırma fonksiyonunun teorik olarak türetilmesinin analizini sunmakta ve ayrıca objektif ve subjektif testler kullanarak performans değerlendirmesi yapmaktadır. Önerilen yöntemin etkinliği, objektif olarak SRMR-CI ve ESTOI kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, subjektif değerlendirme için koklear implantın akustik simülasyonları aracılığıyla konuşma tanıma testleri yapılmıştır. Önerilen yöntemin performansı, Weiner filtresi (WF) ve sigmoidal fonksiyonlarla karşılaştırılmıştır. Koklear implant algısını simüle etmek için sinüs dalgası ses kodlayıcısı kullanılmıştır. Hem objektif hem de subjektif skorlar, önerilen tekniğin performansının WF ve sigmoidal fonksiyondan üstün olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, gürültülü ortamlarda konuşma anlaşılabilirliğini artırmak için yeni bir yaklaşım sunarak, koklear implant kullanıcılarının iletişim becerilerini geliştirmeye yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilebilmektedir.

Wang ve ark., (2023), Gök gürültüsü tanıma ve yıldırım tespiti gibi alanlarda büyük ilgi gören konulara odaklanmıştır. Geleneksel konuşma gürültüsü azaltma teknolojilerinin karmaşık gök gürültüsünü tanımlamakta yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, alçak geçişli filtreleme, en küçük ortalama kareler uyarlamalı filtreleme, spektral çıkarma filtrelemesi ve Wiener filtrelemesi gibi farklı filtreleme yöntemlerinin gök gürültüsü tanıma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Orijinal akustik sinyal ve farklı filtreleme teknikleri kullanılarak işlenmiş sinyaller, gök gürültüsü ve arka plan gürültüsünün sınıflandırıldığı evrişimli bir sinir ağına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, spektral çıkarma ve alçak geçiren filtre kombinasyonunun gök gürültüsü tanıma konusunda en iyi performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca,

sinyal-gürültü oranının önemli ölçüde iyileştirilebileceği ve akustik sinyalin birleşik filtreleme yöntemleri kullanılarak işlendikten sonra gök gürültüsü tanıma doğruluğunun %93.18 gibi belirgin bir oranda artırılabilceği bulunmuştur. Ek olarak, filtreleme sonrasında gök gürültüsü sinyalinin uç noktalarının, frekans alanında alt bant varyans algoritması kullanılarak daha iyi tanımlanabileceği tespit edilmiştir. Bu bulgular, gök gürültüsü tanıma teknolojilerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

2.1.Ses ve Ses İşaretleri

Ses, çoğunlukla havada veya diğer ortamlarda oluşan basınç dalgalanmalarının bir sonucudur. Basınç dalgalanmaları, bir kaynaktan çıkan titreşimlerin ortama yayılmasıyla meydana gelir. İnsan kulağı, bu basınç dalgalanmalarını algılayarak sesi duyabilir (Hildebrand ve ark., 2020).

Sesin temel özellikleri alt başlıklar altında incelenecektir:

- a) **Frekans (Periyot):** Ses dalgalarındaki titreşim sayısını belirtir ve bir sesin yüksekliğiyle ilişkilidir. Birimi Hertz (Hz) olan frekans, genellikle insan duyası için algılanabilir frekans aralığı 20Hz ile 20.000Hz arasındadır (Hildebrand ve ark., 2020). Daha yüksek frekanslar genellikle daha yüksek tonlara, daha düşük frekanslar ise daha düşük tonlara karşılık gelir.
- b) **Amplitüd (Genlik):** Bir ses dalgasının en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki mesafeyi belirler. Amplitüd, sesin şiddeti veya gücüyle ilişkilidir. Daha büyük amplitüdlü ses dalgaları genellikle daha yüksek ses seviyelerine karşılık gelir (Hildebrand ve ark., 2020).
- c) **Dalga Şekli:** Ses dalgalarının şekli, bir sesin özgün karakteristiğini belirler. Farklı enstrümanların veya ses kaynaklarının ürettiği ses dalgaları farklı dalga formlarına sahip olabilir.
- d) **Hız:** Ses, bir ortamda belirli bir hızda yayılır. Havanın ses hızı genellikle sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişebilir. Sesin havada genellikle yaklaşık 343 metreye kadar saniyede ortalama bir hızla yayıldığı kabul edilir.
- e) **Faz:** Ses dalgalarının birbirine göre konumları, fazı belirler. Faz, iki ses dalgasının birleştiği veya birbirinden uzaklaştığı anı ifade eder. Sesin duyula bilirliliği ve kalitesi üzerinde etkisi vardır.

Ses işaretleri, sesin elektriksel veya dijital bir temsilidir. Genellikle dalga formunda ifade edilirler. Ses dalgaları, belirli frekans aralıklarında titreşim yapar. Frekans, sesin yüksekliği

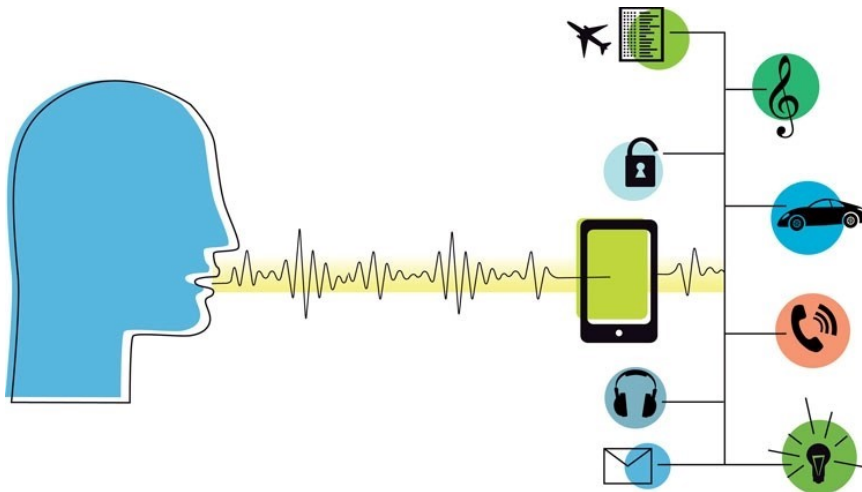
veya düşüklüğüyle ilişkilidir. Yüksek frekanstaki ses dalgaları genellikle yüksek sesleri temsil ederken, düşük frekanstaki dalgalar genellikle düşük sesleri temsil eder.

Analog ses işaretleri genellikle sürekli bir dalga formunda bir elektrik voltajı olarak temsil edilir. Diğer yandan dijital ses işaretleri, belirli bir süre içinde örneklenmiş ve sayısal bir formatta temsil edilmiştir (Tan ve Jiang, 2019).

Ses işaretlerindeki temel özellikleri ise ana başlıklar halinde aşağıda incelenmiştir:

- a) **Örnekleme Frekansı:** Dijital ses işaretleri, analog ses dalgalarının belirli aralıklarla örneklenmesiyle oluşturulur. Örnekleme frekansı, bir saniye içinde yapılan örnekleme sayısını ifade eder (Smith, 2003).
- b) **Bit Derinliği:** Dijital ses işaretlerinde, her örnek için ayrılan bit sayısıdır. Daha yüksek bit derinliği, daha hassas ve doğru ses temsili sağlar (Smith, 2003).
- c) **Mono ve Stereo:** Mono, tek kanallı sesi ifade ederken stereo, iki ayrı kanal aracılığıyla sesi iletmeyi sağlar. Stereo, sesin sağdan-soldan ve derinlik algısını artırabilir.

Ses işleme teknolojileri, Şekil 2.1.' de gösterildiği gibi, ses işaretlerini kaydetmek, işlemek, iletmek ve çoğaltmak için kullanılır. Mikrofonlar, hoparlörler, ses kartları, ses düzenleme yazılımları ve dijital ses kayıt cihazları gibi araçlar, sesle ilgili çeşitli uygulamalarda önemli bir rol oynarlar. Telekomünikasyon, radyo, televizyon, müzik prodüksiyonu ve konferans sistemleri gibi alanlarda ses işaretleri geniş bir kullanım alanına sahiptir.



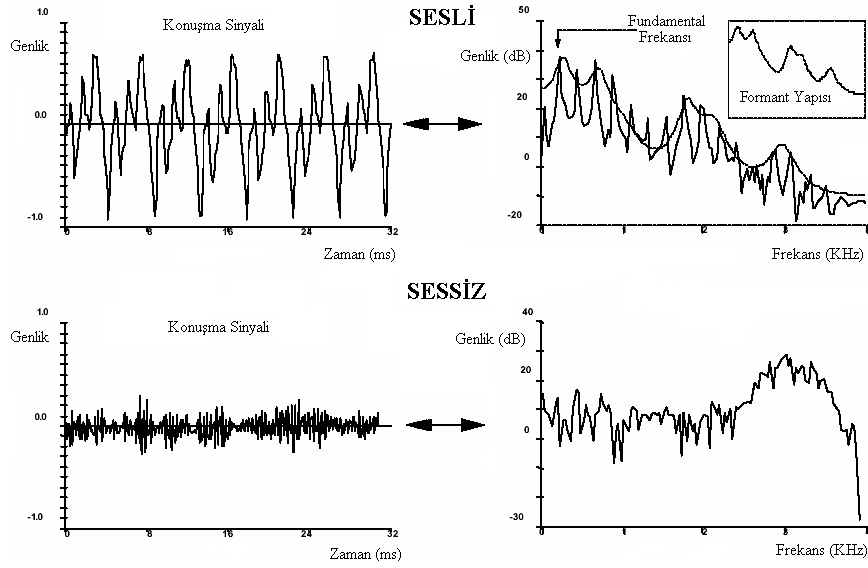
Şekil 2. 1. Ses İşaretleri (appen.com)

2.1.1. Ses İşaretlerinde Enerji Dağılımı

Ses işaretlerinde enerji dağılımı, genellikle frekans spektrumu analizi kullanılarak incelenir. Bu analiz, bir ses işaretinin farklı frekanslardaki bileşenlerinin güç veya enerji içeriğini gösterir (Bao ve ark., 2023). Enerji dağılımını anlamak için bazı temel kavramlara hâkim olmak gerekir.

- a) **Frekans Spektrumu:** Bir ses işaretinin farklı frekanslardaki bileşenlerinin görsel bir temsidir. Genellikle spektrum analizi grafiği üzerinde, düşük frekanstaki bileşenlerin solda, yüksek frekanstaki bileşenlerin ise sağda yer aldığı bir grafik olarak gösterilir.
- b) **Güç Spektrumu:** Ses işaretinin frekans bileşenlerinin güçleri, güç spektrumu grafiği üzerinde gösterilir. Bu, frekanslara göre enerji dağılımını belirlemenize yardımcı olur. Yüksek bir güç, o frekansta daha fazla enerji içerdiği anlamına gelir (Stoicave ve Moses, 2005).
- c) **Genlik-Zaman Grafiği:** Bir ses işaretinin zaman içindeki genliğini gösterir. Bu grafiği kullanarak, sesin hangi anlarda daha güçlü veya daha zayıf olduğunu anlayabilirsiniz.
- d) **Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü Grafiği (STFT):** Zaman içindeki frekans içeriğini görsel olarak temsil eden bir grafikdir. Zaman ve frekansın birleşimini sağlar, böylece sesin zaman içindeki frekans değişimleri incelenebilir (Bao ve ark., 2023).
- e) **Önemli Frekans Bantları:** İnsan kulağı, belirli frekans bantlarında daha hassastır. Bu nedenle, ses işaretlerinin analizinde genellikle belirli frekans bantlarına odaklanılır. Örneğin, konuşma işaretleri genellikle 300Hz ile 3 kHz arasındaki frekanslarda yoğunlaşır.

Enerji dağılım analizi ses işaretlerinin karakteristiklerini anlamak, ses işleme algoritmalarını geliştirmek ve ses kalitesini optimize etmek için önemli bir araçtır. Şekil 2.2.' de sesli ve sessiz işaretlere ait grafik genlik değerleri, frekans cevapları görülmektedir.



Şekil 2. 2. Sesli ve sessiz işaretler ve frekans cevapları (Meral, 2008)

Ses işaretleri seslendirilmiş ve seslendirilmemiş olarak ikiye ayrılır. Şekil 2.2 'den görüleceği gibi seslendirilmiş işaret periyodik bir işarettir. Seslendirilmemiş işaret ise gürültü biçimindedir (Meral, 2008).

2.1.2. Sesin Frekans Bileşenleri

Ses dalgaları genellikle karmaşık bileşenlere sahip olup, bu bileşenlerin frekansları sesin karakteristiğini belirler (Anonim, 2023). Ses frekans bileşenlerinin içerdiği ana başlıklar şunlardır:

- Temel Frekans:** Bir sesin en temel frekansıdır. Bu frekans, ses dalgasının en temel titreşim modunu ifade eder ve genellikle insan kulağının algıladığı sesin temel frekansıdır (Anonim, 2023). Örneğin, bir enstrümanın çalınması veya bir kişinin konuşması sırasında, temel frekans genellikle en belirgin olan frekanstır.
- Harmonikler:** Temel frekansın katları olarak ortaya çıkan harmonikler, sesin zenginliğini ve renkliliğini oluşturan ek frekans bileşenleridir (Anonim, 2023). Müzikal enstrümanlar ve insan sesi genellikle temel frekanslarına ek olarak bir dizi harmonik üretir.
- Üst Harmonikler:** Temel frekansın üzerine eklenen ve tam katları olmayan frekanslara üst harmonikler denir. Bu frekanslar, sesin karakterini belirleyen ve bir enstrümanın veya sesin benzersiz tonunu oluşturan önemli bileşenlerdir.

- d) **Radyantlar:** Akustik enstrümanlar genellikle tam sayı olmayan oranlarda titreşim yaparlar ve bu durum, radyantların oluşmasına neden olur. Bu radyantlar, enstrümanın sesinin karmaşıklığını ve zenginliğini artırabilir.
- e) **İnharmonikler:** Temel frekansın katları olmayan frekanslar, inharmonikler olarak adlandırılır. Bu bileşenler, bazı enstrümanlarda veya ses kaynaklarında bulunabilir ve sesin daha kompleks ve organik bir yapısına katkıda bulunabilir.

Sesin bu frekans bileşenleri, bir sesin karakteristiğini belirler ve ses işleme tekniklerinin geliştirilmesinde kullanılır.

2.1.3. Frekans Spektrum Analizi

Bir ses işaretinin frekans bileşenlerini görsel olarak incelemek ve anlamak için kullanılan bir tekniktir. Bu analiz, sesin hangi frekanslarda ne kadar enerji içerdiğini belirlemek, sesin karakteristiğini değerlendirmek ve ses işareti üzerindeki değişiklikleri izlemek için yaygın olarak kullanılır (Hildebrand ve ark., 2020).

- a) **FFT (Fast Fourier Transform- Hızlı Fourier Dönüşümü):** Ses işaretlerini frekans spektrumuna dönüştürmek için sıklıkla kullanılan bir matematiksel yöntemdir. FFT, bir zaman etki alanındaki ses işaretini frekans etki alanına dönüştürerek, sesin frekans bileşenlerini belirlemenize olanak tanır (Loan ve Charles, 1992).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \left(x(n) e^{-\left(\frac{2\pi i}{N}\right)kn} \right), \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.1)$$

- N , FFT'nin örnek sayısıdır.
- $x(n)$, giriş işaretinin n . örneği olan bir dizidir.
- $X(k)$, FFT'nin çıkışında elde edilen k . frekans bileşenidir.
- $e^{-\left(\frac{2\pi i}{N}\right)kn}$, Euler formülü kullanılarak ifade edilen bir kompleks sayıdır.

Temel FFT matematiksel yapısıdır. Uygulanmasında formülün algoritmik olarak optimize edilmiş versiyonu kullanılır.

- b) Spektrogram:** Zaman, frekans ve genlik bilgilerini içeren bir grafiksel temsildir. Bu grafik, sesin zaman içindeki frekans değişimini renkli bir görüntü üzerinde gösterir. Yatay eksen zamanı, dikey eksen frekansı, renk ise genliği temsil eder (Hildebrand ve ark., 2020).
- c) Genlik-Zaman Grafiği:** Bu grafik, bir ses işaretinin zaman içindeki genliğini gösterir. Frekans spektrumu analizine ek olarak, genlik-zaman grafiği sesin zaman içindeki değişimini daha ayrıntılı bir şekilde gösterir.
- d) Güç Spektrumu:** Ses işaretinin frekans bileşenlerinin güç düzeyini temsil eden bir grafikdir. Belirli frekanslardaki enerji miktarını göstererek sesin karakteristiği hakkında bilgi sağlar (Stoicave ve Moses, 2005).
- e) Harmonik Analizi:** Ses işaretinin temel frekansını ve harmoniklerini belirleyerek, sesin genliğini ve tonunu anlamada yardımcı olabilir.

Frekans spektrumu analizi, müzik prodüksiyonu, ses mühendisliği, akustik çalışmalar ve telekomünikasyon gibi birçok alanda kullanılır. Bu analiz, ses işaretlerini anlamak, işlemek ve optimize etmek için önemli bir araçtır.

2.2. Sesin Modellenmesi

Genellikle konuşma veya ses işaretlerinin bir makine öğrenimi modeli tarafından analiz edilmesini ve anlamlandırılmasını ifade eder. Bir dizi işlemi içerebilir, özellikle de konuşma tanıma, doğal dil işleme veya ses işaretlerinin başka bir şekilde anlamlandırılması amacıyla kullanılabilir.

Sesin modellenmesinde izlenen süreç aşağıdaki gibidir:

- a) Veri Toplama ve Ön İşleme:** Ses işaretlerinden oluşan büyük bir veri kümesi toplanmalı ve ön işleme adımlarıyla hazırlanmalıdır. Bu adım, ses dosyalarını düzenleme, gürültüyü azaltma ve veriyi daha işlenebilir hale getirme süreçlerini içerir (Hildebrand ve ark., 2020).
- b) Özellik Çıkarma:** Ses işaretlerinden anlamlı özellikler çıkarılmalıdır. Mel-frekans spektrum katsayıları (MFCCs), enerji, ses yüksekliği gibi özellikler, genellikle sesin özünü temsil etmek için kullanılır.
- c) Model Eğitimi:** Özellik çıkarma aşamasından elde edilen veri, bir makine öğrenimi modeline beslenir. Bu model, genellikle derin öğrenme modelleri arasında yer alan

reküran sinir ağları (RNNs), evrişimli sinir ağları (CNNs) veya uzun kısa vadeli bellek (LSTM) gibi algoritmaları içerebilir.

- d) **Eğitim ve Doğrulama:** Model, eğitim verileri üzerinde eğitilir ve daha sonra doğrulama verileri üzerinde test edilir. Bu aşama, modelin genelleme yeteneğini değerlendirmek için önemlidir.
- e) **Hiperparametre Ayarı:** Modelin performansını artırmak veya aşırı uydurmayı önlemek için hiperparametreler ayarlanır.
- f) **Uygulama ve Entegrasyon:** Eğitilen model, gerçek dünya uygulamalarında kullanılmak üzere entegre edilir. Örneğin, ses tanıma uygulamaları veya sanal asistanlar gibi sistemlerde kullanılabilir (Hildebrand ve ark., 2020).

2.2.1. Sesin Matematiksel Modellemesi

Ses, hava basınç dalgalanmalarının bir sonucudur ve bu dalgalanmalar matematiksel olarak ifade edilebilir. Sesin matematik modellemesi genellikle dalgaların analizi ve işlenmesini içerir. Sesin temel matematiksel modeli genellikle bir dalga formunda ifade edilir. Ses dalgaları genellikle basınç değişikliklerini zamanla gösteren bir dalga formu olarak tanımlanır (Brown ve Riede, 2016). Temel bir matematiksel model olarak aşağıda ele alınacak olunursa;

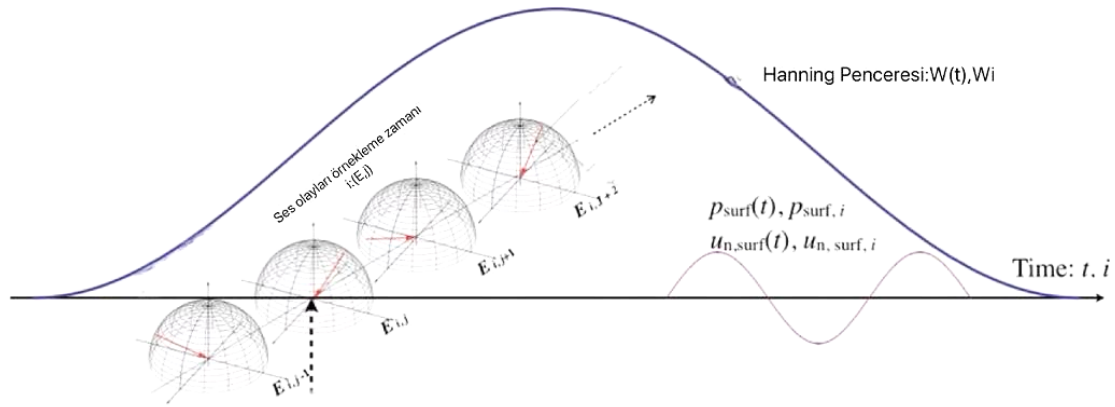
$$p(t) = A \sin(2\pi f t + \phi) \quad (2.2)$$

- $p(t)$ ses basıncını temsil eder.
- A sesin genliğini (amplitüd) temsil eder.
- f ses dalgasının frekansını temsil eder.
- t zamanı temsil eder.
- ϕ ise faz kaymasıdır.

Ses işaretleri genellikle zaman-frekans alanında analiz edilir ve bu analiz, sesin özelliklerini, frekans bileşenlerini ve diğer özelliklerini anlamak için kullanılır (Brown ve Riede, 2016). Matematiksel modelleme, sesin diğer özelliklerini de içerebilir. Örneğin, konuşma tanıma

sistemlerinde, sesin spektral özellikleri, formant analizi gibi konseptler matematiksel modellere dönüştürülerek kullanılır (Hildebrand ve ark., 2020).

Sesin matematiksel modellenmesi, ses işaretlerinin anlaşılması, işlenmesi ve kullanılması için temel bir adımdır. Bu modeller, ses tabanlı uygulamalarda, konuşma tanıma sistemlerinde, müzik işareti analizinde ve daha birçok alanda kullanılır. Sesin modellenme yöntemlerinden olan, Hanning penceresi yöntemi ile sese ait matematiksel ve fiziksel gösterimi Şekil 2.3.'te görülmektedir.



Şekil 2. 3. Hanning Penceresi Yöntemi ile sesin matematiksel ve fiziksel gösterimi (Otsuru, 2016)

2.2.2. Mel-frekans cepstral katsayıları (MFCC)

MFCC, sesin spektral özelliklerini çıkarmak ve bu özellikleri temsil etmek için tasarlanmış bir özellik vektörüdür (Eni ve ark., 2022). Ses işaretlerini temsil etmek ve analiz etmek için yaygın olarak kullanılır.

MFCC'nin adımları:

- a) **Ses İşareti Alınması:** Ses işareti, bir mikrofon veya benzeri bir kaynaktan alınır. Bu ses işareti genellikle zaman içindeki basınç dalgalanmalarını temsil eder.
- b) **Pre-emphasis:** İlk adım genellikle pre-emphasis adı verilen bir filtreleme işlemidir. Bu işlem, düşük frekanslı bileşenlerin güçlendirilmesi ve sesin genlik spektrumunu dengesizleştiren yüksek frekans bileşenlerini azaltma amaçlıdır.

- c) **Çerçeveleme:** Ses işareti genellikle kısa zaman aralıklarına bölünür. Bu bölümlere çerçeve (frame) denir ve her bir çerçeve üzerinde analiz yapılır. Genellikle 20 ila 40 milisaniyelik çerçeve süreleri kullanılır.
- d) **FFT (Fast Fourier Transform):** Her çerçeve üzerinde FFT uygulanarak frekans alanına geçilir. Bu, ses işaretinin frekans bileşenlerini elde etmek için kullanılır.
- e) **Mel Filtre Bankası:** Frekans alanındaki spektrum, Mel ölçeğinde bir filtreye tabi tutulur. Mel-frekans ölçeği, insan kulağının frekans algısını taklit eden bir ölçüdür. Filtre bankası, frekansları belirli aralıklarda birleştirir ve bu sayede özellikle insan konuşmasının temel frekans bölgelerini vurgular.
- f) **Logarithm ve Cepstral Dönüşüm:** Her bir filtre çıkışının logaritması alınır ve ardından cepstral dönüşüm uygulanır. Özellikle ses işaretinin spektral bileşenlerini temsil eden katsayıları elde etmek için yapılır.
- g) **DCT (Discrete Cosine Transform-Ayrık Kosinüs Dönüşümü):** Son olarak, DCT uygulanarak MFCC elde edilir. Bu işlem, cepstral katsayıları çıkarmak için kullanılır. Genellikle, birkaç en önemli MFCC katsayısı kullanılır ve geri kalanı ihmal edilir.

2.3. Konuşma ve Konuşma İşaretleri

Günlük hayatta en temel ihtiyaçlarımızdan olan konuşma, iletişim için en çok kullandığımız iletişim dallarından biri olan sözel iletişim aracıdır. Konuşma oluşumu, bir dilde sesleri, kelimeleri ve cümleleri nasıl bir araya getirdiğimizle ilgili kuralları ifade eder. Her dilin kendi özel konuşma oluşumu vardır ve dilbilgisi kuralları, sözcük sırası ve ses yapısı gibi unsurları içerir. Ses dalgaları aracılığıyla iletilen ve algılanan seslerin bir sürecini içerir (Raphael ve ark., 2007).

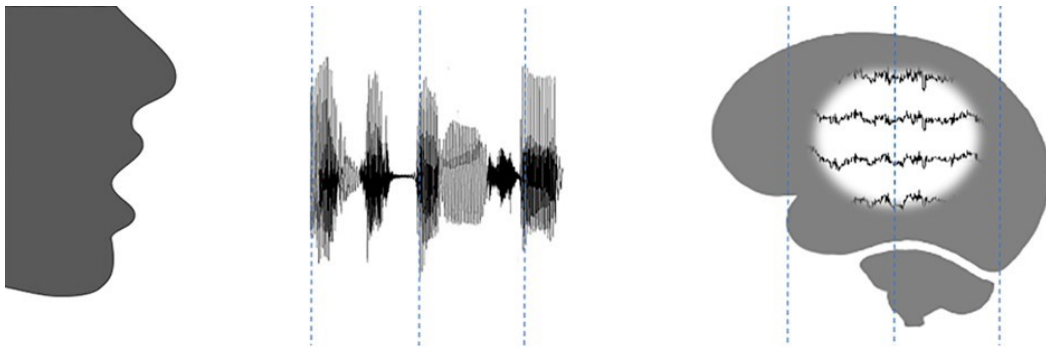
- a) **Konuşma İşareti:** Bir konuşmacının sözlü iletişim sırasında ürettiği ses dalgalarının temsidir. Bu ses dalgaları, hava üzerinden veya bir iletişim kanalı aracılığıyla taşınır. Konuşma işaretleri genellikle zaman içinde değişen ses frekansları, genlikler ve süreler içerir.
- b) **Konuşma Üretimi:** Bir konuşmacının düşündüklerini sesli bir şekilde ifade ettiği süreçtir. Bu süreç, ses telleri, gırtlak, ağız, burun, dil ve dudaklar gibi konuşma organlarının koordineli bir şekilde çalışmasını içerir. Ses dalgaları bu organlar tarafından şekillendirilir ve çevreleyen havaya iletilir (Hildebrand ve ark., 2020).

- c) **Konuşma Algılama:** Bir dinleyicinin konuşma işaretlerini alarak ve anlayarak gerçekleştirdiği süreçtir. İnsanlar, konuşma seslerini işitmek ve bu sesleri anlamak için karmaşık bir işleme sürecine sahiptir. Beyin, seslerin anlamını çıkarmak ve konuşmayı anlamak için çeşitli işlemleri gerçekleştirir.
- d) **Akustik Analiz:** Konuşma işaretlerinin akustik analizi, ses dalgalarının frekans, genlik, süre ve diğer özelliklerini inceleyen bir disiplindir. Bu analiz, konuşma seslerinin bilgisayar tabanlı sistemlerle işlenebilmesi, konuşma tanıma ve sentez sistemlerinin geliştirilmesi gibi uygulamalarda kullanılır.
- e) **Konuşma Tanıma:** Konuşma işaretlerini anlamak ve yazılı bir formata çevirmek için kullanılan bir teknolojidir (Hildebrand ve ark., 2020). Bu teknoloji, sesli komutları, konuşma transkriptlerini veya başka türdeki konuşma içeriğini anlamak için kullanılır.
- f) **Konuşma Sentezi:** Bilgisayarlar veya diğer cihazlar tarafından üretilen yapay konuşma işaretlerini ifade eder. Bu, metin tabanlı bilgilerin sesli bir şekilde ifade edilmesi için kullanılır.

Konuşma ve konuşma işaretleri üzerine yapılan araştırmalar, dilbilimi, fonetik, akustik ve bilgisayar bilimi gibi birçok alanda etkileşimlidir ve bu alanlar arasındaki kesişimler, dil işleme teknolojilerinin gelişimi için önemlidir (Hildebrand ve ark., 2020).

2.3.1. Konuşma Sürecinin Fiziksel ve Akustik Temellerinin İncelenmesi

Konuşma sürecinin fiziksel ve akustik temelleri, sesin nasıl üretildiğini, iletimini ve algılandığını anlamak amacıyla incelenir (Raphael ve ark., 2007). Bu süreç, Şekil 2.4.'te görüldüğü gibi, ses üretimi, sesin iletimi ve sesin algılanması olarak üç temel aşamaya ayrılabilir.



Şekil 2. 4. Konuşma, İletimi,Algılanması (bilimgenç.tubitak)

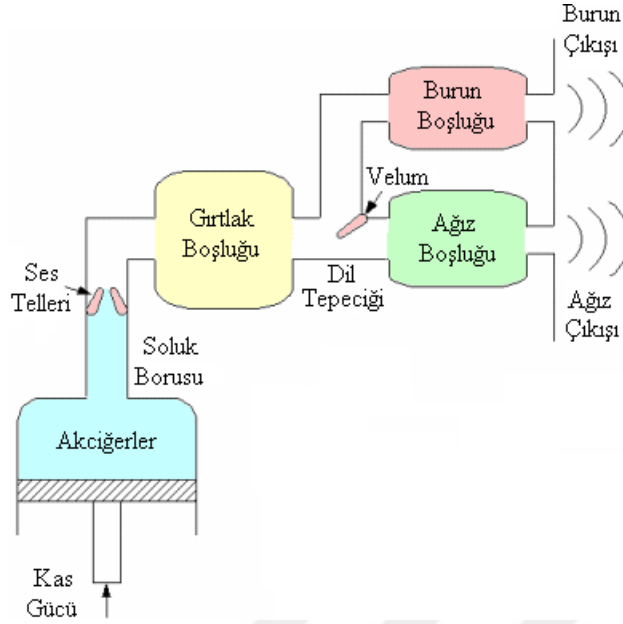
- a) **Sesin Üretimi:** Bu aşama, konuşmacının ses tellerini kullanarak ses ürettiği fiziksel süreci içerir. Ses telleri, larenks (gırtlak) içinde bulunur. Konuşmacı, hava akımını bu ses telleri arasından geçirerek titreşim oluşturur. Titreşen ses telleri tarafından üretilen ses dalgaları, sesin temel kaynağını oluşturur (Türk ve ark., 2004).
- b) **Sesin İletimi:** Üretilen ses, konuşmacının ağız, dil, dudaklar ve diğer konuşma organları tarafından şekillendirilir. Bu organlar, konuşmacının sesi nasıl şekillendirdiğini ve belirli sesleri nasıl oluşturduğunu kontrol eder (Raphael ve ark., 2007). Ağız içindeki rezonans boşlukları da sesin tonunu ve karakterini etkiler.
- c) **Sesin Algılanması:** Üretilen ve iletilen ses, dinleyici tarafından algılanır. Bu aşamada, ses dalgaları kulak tarafından alınarak işitme sinirleri aracılığıyla beyne iletilir. Beyin, bu ses işaretlerini yorumlar ve anlamlandırır (Raphael ve ark., 2007).

Akustik temellerle ilgili olarak, sesin fiziksel özellikleri ve ses dalgalarının nasıl yayıldığı gibi konuları içerir. Sesin frekansı, genliği, süresi ve karmaşıklığı gibi akustik özellikler, sesin niteliklerini belirler. Akustik analiz, konuşma sesinin bilgisayarlar veya diğer cihazlar tarafından işlenebilmesi ve anlaşılabilmesi için kullanılan bir yöntemdir (Raphael ve ark., 2007).

Fonetiği inceleyen bir alt dal olan akustik fonetik, sesin fiziksel özelliklerini detaylı bir şekilde araştırır. Bu alan, konuşma sesinin dalga formu, spektrum analizi ve diğer akustik ölçümleri içerir. Akustik fonetik çalışmalar, konuşma bozukluklarını anlamak, ses sentezini geliştirmek ve konuşma tanıma sistemleri gibi birçok uygulama alanında kullanılır ve çevrelerindeki fiziksel dünyadan veri toplarlar.

2.3.2. Konuşma Üretiminde Yer Alan Konuşma Organlarının Modellenmesi.

Konuşma üretiminde yer alan konuşma organlarının modellenmesi, konuşma bilimcileri ve mühendisler tarafından konuşma sentezi ve konuşma tanıma sistemlerinin geliştirilmesi için önemli bir araştırma alanıdır. Bu modellenme, konuşma organlarının fiziksel ve akustik özelliklerini anlamayı, taklit etmeyi ve simüle etmeyi içerir (Badin ve Serrurier, 2006). Şekil 2.5.'te insan vokal sisteminin izlediği yola dair görsel görülmektedir.



Şekil 2. 5. İnsan vokal sisteminin çalışma şekli (Meral, 2008)

Konuşma organlarının bazı temel bileşenlerinin modellenmesi aşağıda ele alınmıştır:

a) Ses Telleri Modellenmesi:

Fonasyon: Ses telleri, larenks (gırtlak) içinde bulunur ve hava akımının geçişiyle titreşir, ses dalgalarını oluşturarak ses üretimini başlatır (Hildebrand, 2020). Fonasyon sürecinin modellenmesi, ses tellerinin fiziksel özelliklerini, titreşim frekansını ve genliğini içerir.

b) Ağız ve Boğaz Modellenmesi:

Artikülasyon: Konuşmacının dil, dudaklar, damak ve diğer konuşma organları aracılığıyla sesi nasıl şekillendirdiğini modellemek, konuşma üretiminin bir diğer önemli bileşenidir (Badin ve Serrurier, 2006). Artikülasyon süreci, belirli bir sesi veya fonemi üretmek için organların pozisyonunu ve hareketini içerir.

c) Burun Modellenmesi:

Nefes Alımı ve Burun Kullanımı: Konuşma sırasında nefes alımı ve burnun kullanımı, ses üretim sürecinde önemli bir rol oynar. Bu süreçlerin modellenmesi, konuşma işaretlerinin doğal ve akustik olarak gerçekçi bir şekilde üretilmesine katkı sağlar (Badin ve Serrurier, 2006).

d) Dudak Modellenmesi:

Dudak Hareketleri ve Şekillendirme: Konuşmacının dudakların pozisyonunu ve hareketini kontrol etme şekli, bazı sesleri üretmede kritiktir. Özellikle labiodental (alt dudak ve üst dişlerle eklemlenen ünsüzler) veya bilabial (her iki dudakla eklemlenen bir dudak ünsüzü) sesler gibi belirli sesler ve ünlü sesler, dudak hareketleriyle belirlenir (Badin ve Serrurier, 2006).

e) Dil Modellenmesi:

Artikulator Dil Hareketleri: Dil, konuşmanın en önemli organlarından biridir. Dilin hareketleri ve konumları, belirli seslerin üretilmesinde belirleyici bir rol oynar. Dil hareketlerini modellemek, konuşmanın doğru ve anlaşılır bir şekilde üretilmesi için önemlidir.

Bu organların modellenmesi genellikle matematiksel ve bilgisayar bilimleri tekniklerini içerir. Bilgisayarlı modelleme, konuşma sentezi sistemlerinin geliştirilmesi ve konuşma tanıma algoritmalarının iyileştirilmesi için kullanılır (Badin ve Serrurier, 2006). Bu modeller, gerçekçi konuşma üretimine ve anlama yeteneklerine katkıda bulunabilir, aynı zamanda konuşma terapisi ve dil öğrenme alanlarında da kullanılabilir.

2.3.3. Konuşma İşaretlerinin Temel Yapı Taşları Olan Fonemlerin ve Ses Birimlerinin Modellenmesi

Konuşma işaretlerinde fonem ve ses birimleri modellemesi, konuşmanın temel yapı taşlarını anlamak ve işlemek için kullanılan bir yaklaşımı ifade eder (Öztürk, 2005). Fonemler, bir dilin ses sistemindeki en küçük anlamı değiştiren ses birimleridir. Ses birimleri ise genellikle daha geniş bir kapsama sahiptir ve spesifik bir dildeki ses varyasyonlarını temsil eder. Fonem ve ses birimi modellemesi, konuşma tanıma, konuşma sentezi ve dil işleme uygulamalarında önemlidir.

- a) Fonem modellemesi:** Fonem, bir dildeki en küçük anlam farkını oluşturan ses birimidir. Örneğin, İngilizce'de "bat" ve "pat" kelimelerindeki /b/ ve /p/ sesleri fonemlerdir çünkü bu sesler, iki kelime arasındaki anlam farkını belirler. Konuşma işaretlerini analiz ederek ve bu işaretleri fonemlere ayırarak gerçekleşir. Genellikle ses spektrumu, formant analizi (sesin yüksek enerji analizi) ve diğer akustik özelliklerin kullanılmasıyla yapılır (Al-Shoshan, 2006). Bu modelleme, konuşma tanıma sistemlerinin

geliştirilmesinde önemlidir çünkü sesi doğru bir şekilde fonetik bir birime dönüştürerek kelime veya cümleleri anlamlandırmak için kullanılır.

HMM (Hidden Markov Model-Gizli Markov Modeli): Fonem modellemesinde sıkça kullanılan bir yöntem HMM' dir. HMM, gizli durumlu bir modelleme tekniğidir ve fonemlerin zaman içindeki geçişlerini temsil eder (Reyes ve ark, 2017).

- b) Ses Birimi Modellemesi:** Ses birimleri, bir dildeki sesleri temsil eden geniş bir kategori olabilir. Fonemleri içerebileceği gibi, daha büyük bir birimi de ifade edebilir. Örneğin, İngilizce' de bir ses birimi, bir harf, bir hece veya bir kelime olabilir. Ses birimi modellemesi, genellikle fonem modellemesini içerir, ancak daha geniş bir kapsama sahiptir. Bu, konuşma işaretlerini daha büyük birimlere (harf, hece, kelime) ayırmak için kullanılır. Ses birimi modellemesi, konuşma sentezi sistemlerinde ve doğal dil işleme uygulamalarında kullanılır.

DNN (Deep Neural Network-Derin Sinir Ağı): Ses birimi modellemesinde DNN' ler yaygın olarak kullanılır. Derin sinir ağları, karmaşık ve hiyerarşik özellikleri öğrenme kapasitesine sahip oldukları için ses birimi modelleme görevlerinde etkilidir. Bu modelleme yöntemleri, konuşma işaretlerini analiz etmek ve dilin yapısal öğelerini anlamak için karmaşık bilgisayar algoritmalarını içerir. Fonem ve ses birimi modellemesi, konuşma teknolojilerinin geliştirilmesinde temel bir rol oynar, çünkü doğru bir şekilde ses birimlerini tanımlamak, konuşma anlayışını artırabilir ve konuşma sentezi sistemlerinin daha doğal ve anlaşılır olmasına katkı sağlar.

2.4. Gürültü

Gürültü terimi, genellikle istenmeyen sesleri ifade eder. Gürültü, çeşitli kaynaklardan kaynaklanabilir ve çevresel faktörler, endüstriyel faaliyetler, trafik, teknolojik cihazlar veya diğer insan etkinlikleri tarafından oluşturulan sesler içerebilir. Gürültü, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olabilen bir çevresel faktördür. Günlük hayatlarımızı birçok yönden etkiler ve iletişimde, yaşamda kalitenin düşmesine sebep olur. Sağlıklı iletişimin önündeki en önemli engellerden biri, çeşitli kaynaklardan kaynaklanan gürültüdür (Sethi ve ark., 2017). Bu gürültü, çevredeki cihazlar, diğer insanlar ve doğal sesler (su, rüzgâr gibi) ile birlikte, iletişimin niteliğini ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilecek düzeylere ulaşmıştır.

Gürültü Şekil 2.6.'da temsil edildiği gibi, hem haberleşme sektörünün büyük bir sorunu olarak ortaya çıkmakta, hem de işitme sorunu yaşayan bireylerin kullandığı cihazlar nedeniyle sağlık sektörünü de olumsuz bir şekilde etkilemektedir (Çolak, 2021).



Şekil 2. 6. Gürültü (aksaakustik.com)

Teknik olarak gürültü, bir işaret içindeki istenmeyen, rastgele veya beklenmeyen bileşenler olarak tanımlanabilir. Bir iletişim sisteminde gürültünün varlığı, iletişimi doğrudan etkileyebilecek önemli ve tehlikeli bir faktördür (Dawi,2018). Bu istenmeyen bileşenler, orijinal işaretin doğru bir şekilde temsil edilmesini zorlaştırabilir. Gürültü, birçok farklı sistem ve bağlamda ortaya çıkabilir ve genellikle mühendislik, iletişim, elektronik ve işaret işleme gibi alanlarda önemli bir konsepttir.

- a) **Analog İşaretlerde Gürültü:** Analog işaretlerde, gürültü genellikle elektriksel parazitler, sıcaklık etkileri, elektromanyetik interferans (etkileşim) ve diğer çevresel etmenlerden kaynaklanır. Analog işaretlerde gürültü, işaretin genliğini ve hassasiyetini etkileyebilir.
- b) **Dijital İşaretlerde Gürültü:** Dijital işaretlerde, gürültü genellikle quantalama gürültüsü, dalgalanma (jitter), işaret işleme hataları ve diğer dijitalleştirme süreçlerinden kaynaklanabilir (Sethi ve ark., 2017). Dijital işaretteki gürültü, veri bütünlüğünü ve doğruluğunu etkileyebilir.

- c) **İletişim Sistemlerinde Gürültü:** Radyo iletişimi, fiber optik iletişim veya kablolu iletişim gibi sistemlerde, işaret iletimi sırasında gürültü ortaya çıkabilir. Bu, işaretin bozulmasına ve hatalı iletimine neden olabilir.
- d) **Elektronik Devrelerde Gürültü:** Elektronik devrelerde, direnç, transistörler ve diğer bileşenlerin termal gürültüsü gibi faktörlerden kaynaklanan gürültü, devrelerin performansını etkileyebilir (Sethi ve ark., 2017).
- e) **Ses ve Ses İşleme Sistemlerinde Gürültü:** Konuşma işaretleri, müzik ve diğer ses işaretleri üzerindeki gürültü, çevresel sesler, mikrofon hataları ve diğer etmenlerden kaynaklanabilir.

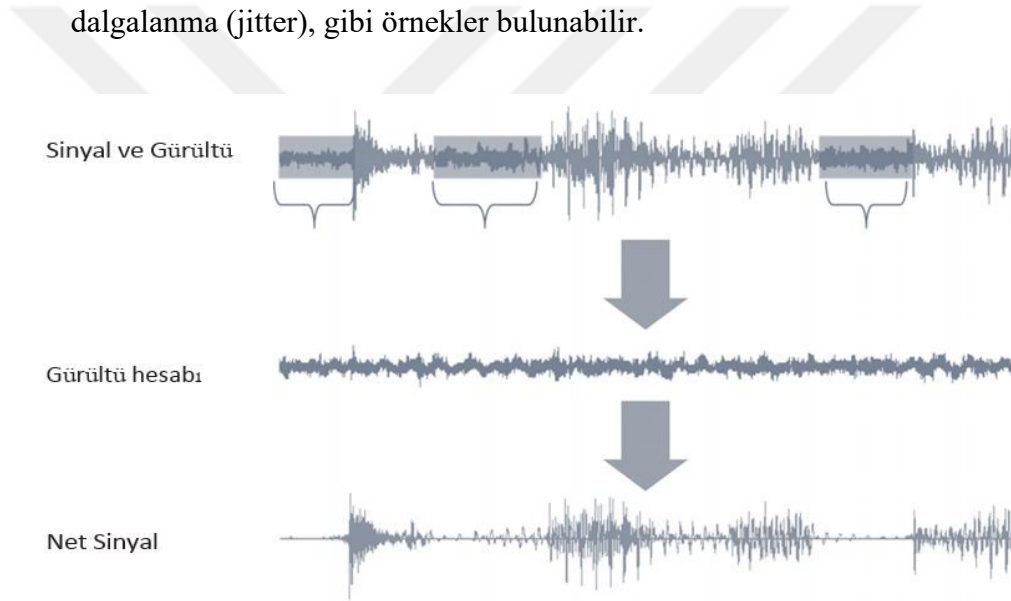
Gürültüyle başa çıkmak için çeşitli teknikler kullanılır, bu teknikler genellikle filtreleme, işaret işleme algoritmaları, gelişmiş donanım tasarımları ve iletişim protokollerini içerir. Gürültüyü azaltmak veya kontrol altına almak, işaret kalitesini artırmak ve sistem performansını iyileştirmek için önemli bir mühendislik hedefidir.

2.4.1.1.Ses İşaretlerinde Gürültü

Ses işaretlerinde gürültü, istenmeyen rastgele veya düzensiz seslerin işarete eklenmesi olarak tanımlanabilir (Kapoor ve ark., 2017). Ses işaretinin kalitesini düşürebilir ve iletilen bilgilerin doğruluğunu azaltabilir. Ses işaretlerinde gürültü, çeşitli kaynaklardan kaynaklanabilir, örneğin elektriksel parazitler, elektromanyetik etkileşimler, çevresel sesler veya diğer dış etmenler. Yaygın ses gürültüleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

- a) **Termal Gürültü (Brown Gürültü):** Elektronik sistemlerde, özellikle direnç ve yarı iletkenlerdeki termal hareketlilikten kaynaklanan rastgele gürültüdür (Sethi ve ark., 2017). Genellikle geniş bir frekans spektrumuna sahiptir ve düşük frekanstaki ses işaretlerini etkileyebilir.
- b) **Elektriksel Gürültü:** Elektrik devrelerindeki elektronik bileşenler ve bağlantılardan kaynaklanan gürültüdür. Parazit voltajları, akımları veya elektromanyetik alanlardan kaynaklanabilir (Sethi ve ark., 2017).
- c) **Akustik Gürültü:** Ses işareti üzerine eklenen çevresel seslerdir. Örneğin, arka plan gürültüsü, rüzgâr sesi veya makine gürültüsü gibi dış ses kaynaklarından kaynaklanabilir.

- d) Radyo Frekans (RF) Gürültüsü:** Elektromanyetik parazitler veya radyo frekanslarından kaynaklanan gürültüdür. Bu tür gürültü, kablosuz iletişim cihazları veya diğer elektronik sistemlerde sorunlara neden olabilir.
- e) Quantum Gürültü:** Çok düşük seviyelerdeki işaretlerde, temel olarak kuantum mekaniği nedeniyle ortaya çıkan gürültüdür. Mikroskopik seviyelerdeki belirsizliklerden kaynaklanabilir.
- f) Yankı ve Yansıma Gürültüsü:** Ses dalgalarının bir ortamda yankılanması veya yansıması sonucu oluşan gürültüdür. Özellikle kapalı alanlarda veya yankıya neden olan ortamlarda ortaya çıkabilir.
- g) Dijital Gürültü:** Analog işaretlerin dijitalleştirilmesi sırasında veya dijital iletim sırasında ortaya çıkan gürültüdür (Sethi ve ark., 2017). Quantalama gürültüsü, dalgalanma (jitter), gibi örnekler bulunabilir.



Şekil 2. 7. Gürültülü Ses İşareti (duymak.com)

Durağan bir sistem, stokastik bir yapıya sahiptir. Sistem parametrelerinin olasılık dağılımı (ortalama değer veya varyans gibi) sürecin başında ve sonunda aynıdır. Beyaz gürültü, bu tür bir durağan stokastik süreci örneklemek için kullanılabilir, çünkü bu süreçte her frekansta eşit enerji seviyelerine sahip rastgele bir işaret bulunur. Ancak, gerçek hayattaki birçok süreç durağan değildir. Yani, sürecin frekans bileşenleri arasında eşit enerji seviyeleri bulunmaz. Bu durumu ifade etmek için "Power Spectrum Density-Güç Spektrum Yoğunluğu" kullanılır. Renkli gürültü, bu tür bir sürecin örneğidir. Renkli gürültüde, frekans bileşenleri arasında farklı enerji seviyeleri bulunur, bu da sürecin belirli bir renkte (örneğin, kırmızı veya mavi gürültü)

olduğunu gösterir. Bu nedenle, durağan ve durağan olmayan süreçler arasındaki fark, sistem parametrelerinin zaman içinde değişip değişmemesine bağlıdır. Beyaz gürültü, durağan bir sistem için iyi bir örnektir, renkli gürültü ise genellikle gerçek hayattaki süreçlerin daha gerçekçi bir modellenmesini sağlar (Ağaoğlu, 2008).

Ses işaretlerindeki gürültüyü Şekil 2.7. azaltmak veya kontrol altına almak için birkaç yöntem ve teknik bulunmaktadır:

Filtreleme: İşaret işleme teknikleri kullanılarak, istenmeyen frekansları filtreleyerek gürültü azaltılabilir.

Ses Yalıtımı: Fiziksel ortamda ses yalıtımı kullanılarak dış gürültü kaynaklarından gelen etkiler azaltılabilir.

Dijital İşleme: Gelişmiş dijital işaret işleme algoritmaları, gürültüyü tespit edebilir ve ardından işareti temizleyebilir.

Düşük Gürültülü Teknoloji: Gelişmiş ses kayıt cihazları ve iletim ekipmanları, düşük gürültü seviyelerine sahip olacak şekilde tasarlanabilir.

Frekans Seçimi: İşaretin belirli frekans aralıklarındaki gürültüleri filtreleyerek, istenmeyen sesleri azaltabiliriz.

2.4.2. Frekans Spektrumu Karakteristiğine Göre Gürültü

Gürültü, belirli bir frekans aralığındaki enerji artışı olarak düşünülebilir ve frekans spektrumundaki belirli bölgelerde bu artışlar analiz edilebilir. Gürültü düzeyleri, genellikle desibel (dB) cinsinden ölçülür. Gürültünün frekans spektrumundaki dağılımı, hangi frekans aralıklarının daha fazla etkilendiğini belirlemeye yardımcı olabilir. Gürültü, genellikle renkli ve renksiz (beyaz) olarak iki ana kategoriye ayrılır. Beyaz gürültü, işaretin tüm frekanslarında eşit güçte bulunan ve zamanla bu özellikleri değişmeyen bir işaret türüdür. Renkli gürültüler ise gerçek dünyada daha sık karşılaşılan ve işaretin frekansları üzerinde farklı güç seviyelerine sahip olabilen işaretlerdir. Eşik değeri, frekans bileşenlerine ayrılmış işaretler için hesaplanırken, gürültünün özelliği büyük önem taşır. Eğer gürültü beyaz ise, her frekans için ayrı eşik değeri hesaplanmasına gerek yoktur; aynı eşik değeri tüm frekans katmanlarında kullanılabilir. Ancak, kaynağımız renkli gürültülerle kirlenmişse, tüm katsayılar için eşik değeri hesaplanmalıdır. Frekans spektrumundaki karakteristiğine göre de gürültü bazı alt kategorilere ayrılır (Vagashi, 2006).

- a) **Beyaz Gürültü:** Beyaz gürültü, belirli bir aralık içinde tüm frekansta eşit yoğunluğa sahiptir. Frekans domeninde, her frekans bileşeninin aynı genlikte olduğunu gösteren düz bir çizgi olarak görünür. "Beyaz gürültü" adı, görünür spektrumdaki tüm renk tonlarının bir karışımı olan beyaz ışığa benzerliğinden gelir. Bu tür gürültü, televizyon, radyo ve ses sistemleri gibi elektronik cihazlarda diğer sesleri gizlemek için yaygın olarak kullanılır. Ayrıca çeşitli bilim ve mühendislik alanlarında ses ve elektronik ekipmanların değerlendirilmesi ve test edilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Howard, 2015).
- b) **Sınırlı Bant Beyaz Gürültü:** Sınırlı bant beyaz gürültü, frekans spektrumunda belirli bir bant içinde eşit yoğunluğa sahip olan bir tür beyaz gürültüdür. Beyaz gürültü, tüm frekanslarda eşit enerji içeren bir gürültü tipidir, ancak sınırlı bant beyaz gürültü, belirli bir frekans aralığında bu özelliği korur. Bu tür gürültü, genellikle bir bant genişliğindeki frekanslarda homojen bir enerji dağılımına sahiptir. Sınırlı bant beyaz gürültü, özellikle bazı telekomünikasyon ve işaret işleme uygulamalarında kullanılır. Örneğin, bir kanal üzerindeki iletim sırasında, belirli bir frekans bandında eşit enerji sağlamak amacıyla sınırlı bant beyaz gürültü eklemek, işaret kalitesini artırabilir veya belirli şartlarda performansı optimize edebilir.
- c) **Renkli Gürültü:** Beyaz olmayan bir gürültü tipidir. Yani, frekans spektrumunda frekansların yoğunlukları değişiklik gösterebilir. Kendi içinde pembe gürültü, kahverengi veya kırmızı gürültü, mavi gürültü, darp gürültüsü ve gaussian gürültüsü olarak türlere ayrılır. Gauss gürültüsü, Gauss dağılımı veya çan eğrisi olarak da bilinen normal bir dağılımı izleyen bir olasılık dağılım fonksiyonundan üretilen bir gürültü türüdür. Bu, gürültünün ürettiği değerlerin belirli bir standart sapmayla merkezi bir ortalama değer etrafında dağıldığı anlamına gelir. Gauss gürültüsü, görüntü işleme ve sinyal işleme uygulamalarında, gerçek dünyadaki gürültüyü simüle etmek ve algoritmaların ve sistemlerin sağlamlığını test etmek için sıklıkla kullanılır (Niranjayan ve Beaulieu, 2010).
- d) **Darbant Gürültü:** Dar bant gürültü, frekans spektrumunda belirli bir frekans aralığında yoğunlaşan gürültüdür. Bu tip gürültü, belirli bir bant genişliğinde frekanslarda daha fazla enerji içerir ve genellikle diğer frekanslarda daha düşük enerji seviyelerine sahiptir (Refrégier, 2004). Dar bant gürültü, bir veya birkaç belirli frekans veya frekans bandında yüksek enerji seviyelerine sahipken, diğer frekanslarda düşük enerji seviyelerine sahip olabilir. Bu tür gürültü, belirli frekanslarda meydana gelen bir olayın

sonucu olarak ortaya çıkabilir. Örneğin, bir elektronik devrede bir parazit işareti veya bir rezonans frekansı gibi belirli bir frekansta girişim olabilir. Örnek olarak, 50Hz şebeke geriliminin frekansı bu tip bir gürültüdür.

2.5. Konuşma İşaretlerinde Gürültü

Konuşma işaretlerindeki gürültü, genellikle iletişim sırasında konuşma sesini etkileyen istenmeyen sesler veya bozulmalar olarak tanımlanır. Bu gürültü türleri, konuşma işaretlerinin doğruluğunu ve anlaşılabilirliğini azaltabilir (Arif ve ark., 2020). Aşağıda konuşma işaretlerindeki gürültülere ait genel tanımlar ele alınmıştır:

- a) **Arka Plan Gürültüsü:** Konuşmanın gerçekleştiği ortamdaki genel ses seviyesidir. Bu, trafik gürültüsü, makine gürültüsü, hava şartlarından kaynaklanan sesler veya diğer konuşmalar gibi çeşitli kaynaklardan gelebilir.
- b) **Elektriksel Gürültü:** Konuşma işareti elektronik cihazlardan veya elektriksel ekipmanlardan kaynaklanan parazitlerle karışabilir (Sambur, 1978). Bu, elektrik hatlarından veya elektronik cihazlardan kaynaklanan gürültüleri içerebilir.
- c) **Akustik Yankı:** Konuşma işareti, bir ortamda yankılanma veya yansıma nedeniyle gürültüyle karışabilir. Bu durum, özellikle büyük ve yankıya neden olan alanlarda ortaya çıkabilir.
- d) **Mikrofon Gürültüsü:** Konuşma işareti mikrofonlara giderken veya mikrofondan kaynaklanan gürültüdür. Mikrofonun mekanik titreşimleri, elektriksel parazitleri veya diğer mikrofon kaynaklı bozulmaları içerebilir.
- e) **Dijital Kodlama Gürültüsü:** Konuşma işaretleri dijital olarak kodlandığında, bu süreç sırasında ortaya çıkan hatalar veya quantalama gürültüsü gibi dijital gürültü türleri etkileyebilir.
- f) **Vokal Trakt Gürültüsü:** Konuşma işaretleri, konuşanın vokal traktındaki hava akışı, dil hareketleri ve diğer fizyolojik faktörler nedeniyle oluşan gürültülerle karışabilir.

Konuşma işareti, sadece konuşulan mesajın içeriği değil, aynı zamanda konuşmacının kimliği, psikolojik durumu, duygusal durumu ve sesin kaydedildiği ortam hakkında da önemli bilgiler taşır. Farklı konuşmacıların konuşma işaretleri arasında belirgin farklılıklar bulunabilir ve daha da önemlisi, aynı konuşmacının farklı zamanlarda kaydedilmiş konuşma işaretleri arasında da çeşitlilik gözlemlenebilir. Bu nedenle, konuşma işaretleri, iletişimdeki zenginlik ve karmaşıklığı anlamak için dikkate alınması gereken çok yönlü bir kaynaktır (Reynolds, 1992).

Konuşma işaretinin enerjisi, konuşma yüksek veya alçak olduğunda değişebilir, bu nedenle konuşmacı tanıma için uygun bir özellik olarak düşünülmebilir. Ancak, enerji ve Teager enerjisi, konuşmacıya özgü özellikler taşıdığı için tanıma başarımını artırabilir. Bu özellikler, konuşma işaretinin birinci derece türevleri olarak bilinir. Ancak, iletim hatları ve gürültü içeren ortamlarda enerji dağılımı büyük değişimlere uğrayabilir. Bu durum, tanıma başarımını olumsuz yönde etkileyebilir. Özellikle iletim hatlarındaki bozulmalar veya çevresel gürültüler, enerji dağılımını anlamlı bir şekilde değiştirebilir, bu da doğru tanımayı zorlaştırabilir. Bu nedenle, konuşmacı tanıma sistemlerinde enerji ve Teager enerjisi gibi özelliklerin kullanılması, sadece konuşmacıya özgü özellikleri belirlemede değil, aynı zamanda iletim hatlarındaki bozulmalara ve gürültülü ortamlara karşı direnci artırmada da önemlidir. Daha karmaşık tanıma algoritmaları ve gelişmiş filtreleme teknikleri kullanarak, bu tür zorluklarla başa çıkabilir ve konuşmacı tanıma başarımını artırabiliriz (Reynolds, 2003).

2.5.1. Konuşma İşaretlerinde Gürültü Giderme Yöntemleri

Tüm bu konuşma işaretlerinde gürültünün azaltılması ve kontrol altına alınması amacıyla bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden filtreleme ve süzme işlemi gelişmiş filtreleme algoritmaları kullanılarak işarettaki istenmeyen bileşenlerin temizlenmesidir. Gürültü Azaltma Algoritmaları ise özel algoritmalar kullanılarak konuşma işaretlerindeki gürültünün azaltılması sürecidir (Hegger,2001). Diğer bir yöntem olarak, İyi tasarlanmış mikrofonlar ve sensörler Daha düşük gürültü seviyeleriyle çalışabilen hassas sensörlerin ve mikrofonların kullanılması şeklindedir.

2.5.2. Gürültünün Konuşma İşaretlerine Olan Etkilerinin Analizi

Gürültünün konuşma işaretlerine olan etkilerini analiz etmek, ses işleme, iletişim sistemleri ve akustik alanlarda önemli bir konudur. Bu analiz, iletişim kalitesini artırmak, gürültü azaltma teknolojilerini geliştirmek ve daha iyi anlaşılabilirlik sağlamak amacıyla yapılmaktadır (Hegger, 2001). Gürültünün konuşma işaretlerine olan etkilerini analiz etmek için kullanılan bazı yöntemler:

a) SNR (Signal-to-Noise Ratio-İşaret Gürültü Oranı) Analizi:

Konuşma işaretinin gürültü seviyesine oranını belirleyen bir oran olan SNR, iletişim kalitesini değerlendirmek için kullanılır. Yüksek SNR değerleri, daha iyi anlaşılabilirlik anlamına gelir.

b) Spektral Analiz:

Konuşma ve gürültü spektrumlarının analizi, hangi frekans bölgelerinde gürültünün daha belirgin olduğunu ve bu frekanslarda nasıl bir etki yarattığını anlamak için kullanılır.

c) Dalga Formu Analizi:

Konuşma işareti ve gürültünün ses dalgalarının zaman içindeki değişimlerini inceleyerek, özellikle belirli olaylarda (örneğin, kısa süreli gürültü patlamaları) nasıl etkileşimde bulunduklarını anlamak mümkündür.

d) Filtreleme Teknikleri:

Farklı filtreleme teknikleri, özellikle adaptif filtreleme, gürültüyü azaltmak için kullanılır. Bu teknikler, konuşma işaretini belirli bir ortamdaki gürültüyü azaltacak şekilde düzeltebilmektedir.

e) Makine Öğrenimi ve Derin Öğrenme:

Gelişmiş algoritmalar, konuşma işaretlerini gürültüden ayırmak için kullanılabilir. Derin öğrenme modelleri, karmaşık gürültü ortamlarında bile etkili olabilmektedir.

f) Psikoakustik Analiz:

İnsan kulağının nasıl çalıştığını ve gürültüyü nasıl algıladığını anlamak için psikoakustik analizler yapılabilir. Daha insan merkezli gürültü azaltma stratejileri geliştirmeye yardımcıdır.

g) İleri İşleme ve Gürültü Azaltma Algoritmaları:

Çeşitli işleme ve gelişmiş algoritmalar, gürültüyü belirli bir konuşma işaretinden izole etmeye çalışabilir. Konuşma anlaşılabilirliğini artırmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

2.6. Filtreler

İşaret filtreleme, istenen ve istenmeyen bileşenleri içeren bir işaretten istenen işareti ayırmak veya bozulmuş bir işareti iyileştirmek için kullanılan bir işlemdir. Filtreler, darbe cevabı türüne göre genellikle iki ana kategoriye ayrılır: IIR (Infinite Impulse Response - sonsuz dürtü yanıtı) ve FIR (Finite Impulse Response - sonlu dürtü yanıtı) filtreler.

2.6.1. Sonlu Dürtü Yanıtlı (FIR) Filtreler

FIR filtrelerinin temel özelliği, filtre cevabının sonlu bir süre boyunca devam etmesidir. Bu filtreler genellikle daha kolay kararlılık özelliklerine sahiptir, çünkü geri besleme

mekanizmaları içermeyiz. FIR filtreleri genellikle daha fazla filtre katsayısı gerektirir, ancak daha iyi kontrol edilebilirler. Filtre çıkışı, giriş işaretine uygulanan lineer bir fonksiyon olarak ifade edilebilir. Genellikle, bir filtre şu şekilde ifade edilir:

$$H(z) = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m} \quad (2.3)$$

Burada, $b_0, b_1, \dots, b_m$ katsayılarıdır ve m filtre derecesini temsil eder. IIR filtrelerinin aksine, FIR filtreleri geribesleme kullanmaz. FIR filtresinin çıkışı, giriş işaretinin filtrenin katsayılarıyla konvolüsyonu tarafından belirlenir (Proakis ve Manolakis, 2007).

FIR filtrelerinin önemli özellikleri şunlardır:

Kararlılık: FIR filtreleri, geribesleme eksikliği nedeniyle doğal olarak kararlıdır.

Lineer Faz Tepkisi: FIR filtreleri, faz distorsiyonunu en aza indirmenin önemli olduğu uygulamalarda lineer faz tepkisi sağlayabilmektedir.

Tasarım Esnekliği: FIR filtreleri, frekans tepkisini ayarlayarak daha fazla esneklik sunar.

Poz-Zero Sorunları Yok: FIR filtreleri, poz-sıfır sorunlarına sahip değildir, bu da belirli uygulamalarda tasarım ve uygulama açısından daha kolaydır.

2.6.2. Sonsuz Dürtü Yanıtı (IIR) Filtreler

IIR, "Sonsuz İmpuls Cevabı"nın kısaltmasıdır ve bir IIR filtresi, işaret işleme ve kontrol sistemlerinde kullanılan bir dijital filtre türüdür. Finite Impulse Response (FIR) filtreleri, sınırlı süreli bir impuls cevabına sahipken, IIR filtrelerin impuls cevabı sürekli olarak devam eder (Proakis ve Manolakis, 2007). Bu, filtrenin yapısında geri besleme kullanılarak elde edilir.

FIR ve IIR filtreleri arasındaki genel fark, IIR filtrelerinin daha verimli bir uygulama sağlamak için geri besleme kullanmasıdır. Ancak, IIR filtreleri kararlılık sorunlarına daha yatkın olabilir ve tasarım sırasında kararsızlık veya aşırı salınımlar gibi sorunlardan kaçınılması gerekir (Vuerinckx, 1996).

Bir IIR filtresinin transfer fonksiyonu, z -düzleminde z (z -dönüşümü) değişkeninde polinomların bir oranı olarak temsil edilebilir. IIR filtre transfer fonksiyonunun genel formu şu şekildedir:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}} \quad (2.4)$$

Burada, $b_0, b_1, \dots, b_m$ paydalı polinomun katsayılarıdır ve $a_0, a_1, \dots, a_n$ paydada yer alan geribesleme polinomunun katsayılarıdır. Bu katsayıların değerleri, filtre tasarım sürecinde belirlenir ve frekans tepkisi, faz tepkisi ve kararlılık gibi filtre performansını etkiler. IIR filtre tasarımı, filtre sırası, kesim frekansı ve filtre tipi gibi özellikleri dikkate almayı içerir ve istenilen performans kriterlerini karşılamak için yapılır.

2.7. Adaptif Filtreler

Sabit katsayılı bir dijital filtre, iyi tanımlanmış özellikler kullanılarak tasarlanabilir. Ancak belirleyici özelliklerin mevcut olmadığı veya zamanla değiştiği bazı durumlarda katsayıları zamana göre ayarlayan bir filtreye ihtiyaç duyulur (Bellanger, 2001). Adaptif filtre, karakteristiklerini gerçek zamanlı olarak değişen giriş koşullarına göre optimize etme yeteneğine sahip dijital bir filtre türüdür. Sabit katsayılara sahip geleneksel filtrelerin aksine, adaptif filtreler parametrelerini otomatik olarak ayarlayabilir ve giriş işaretindeki değişimlere veya modeli oluşturan sistemin değişikliklerine uyum sağlayabilir (Lee ve ark., 2009).

Adaptif filtreleri anlamamıza yardımcı olacak temel kavramlar aşağıda ele alınmıştır (Vijay ve Douglas, 1998):

- a) **Uyum Algoritması:** Adaptif filtreler, katsayılarını ayarlamak için bir uyum algoritması kullanır. Yaygın algoritmalar arasında En Küçük Kareler (LMS) algoritması ve Yinelemeli En Küçük Kareler (RLS) algoritması bulunur. Bu algoritmalar, istenen çıkış ile gerçek çıkış arasındaki hatayı en aza indirmeye çalışır.
- b) **Filtre Katsayıları:** Bu, filtre parametreleridir ve bunlar adaptasyon süreci sırasında ayarlanır. Adaptasyon algoritması, katsayıların giriş işareti ve istenen çıkış arasındaki hataya tepki olarak nasıl değişeceğini belirler.

- c) **İstenen İşaret:** Birçok uygulamada, adaptif filtre üretmeyi amaçladığı istenen bir işaret bulunur. Adaptasyon algoritması, filtre katsayılarını istenen işaret ile gerçek çıkış arasındaki farkı en aza indirmek için ayarlar.
- d) **LMS Algoritması:** En Küçük Kareler algoritması popüler bir adaptif filtreleme algoritmasıdır. Bu algoritma, istenen ve gerçek çıkış arasındaki ortalama kare hatayı en aza indirecek şekilde filtre katsayılarını günceller. Adaptasyon, anlık hata temel alınarak filtre katsayılarını aşamalı olarak ayarlar.

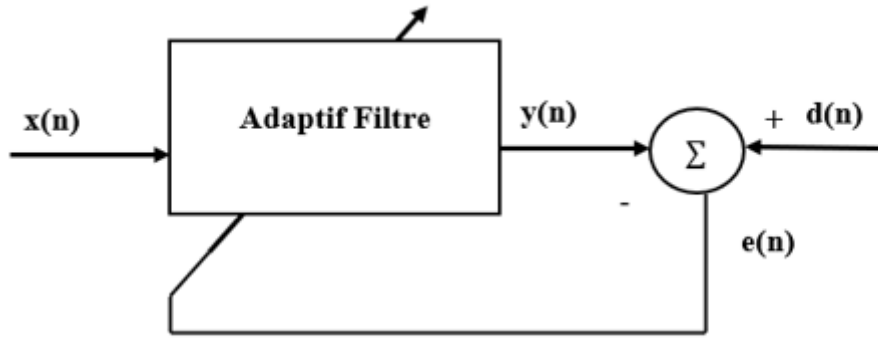
Adaptif filtreleme teorisinde, çeşitli adaptif algoritmalar geliştirilmiştir. Bunlardan birini seçme nedeni, aşağıdaki faktörlere bağlıdır ve aynı zamanda farklı türdeki adaptif algoritmaların performansı bu kriterlere göre karşılaştırabilmektedir (Stergiopoulos, 2001):

- Yakınsama hızı, algoritmanın ortalama kare anlamında optimum Wiener çözümüne yaklaşmak için gereken iterasyon sayısıdır. Daha az iterasyon sayısı, daha iyi performans anlamına gelir.
- Ayarlama hatası, adaptif algoritmanın ortalama kare hatası (MSE) veya ortalama kare sapması (MSD) ile Wiener filtresi arasındaki farktır. Amaç, bu değeri daha iyi bir performans için sifıra yakın bir değere düşürmektir.
- İzleme, adaptif algoritmanın istatistiksel değişiklikleri izlemek için durağan olmayan ortama uyum sağlama kapasitesidir. Ancak, algoritmanın izleme performansı, yakınsama hızı ve gürültü nedeniyle sabit durum dalgalanmaları tarafından etkilenir.
- Sağlamlık: Birkaç iç veya dış faktör nedeniyle küçük bir bozulma, yalnızca algoritmanın kararlılık performansını gösteren küçük bir tahmin hatasına yol açabilir.
- Hesaplama gereksinimleri, algoritmanın çalıştırılması için gerekli olan sistem maliyeti açısından önemli olan matematiksel işlemlerin sayısıdır. Amaç, diğer kriterleri optimum seviyede tutarak hesaplama karmaşıklığını azaltmaktır.

2.7.1. Adaptif Filtrelerin Genel Yapısı

Adaptif filtreleme problemi matematiksel olarak tanımlanır ve daha sonra algoritmanın maliyet fonksiyonu olarak tanımlanan hata kriterini en aza indiren optimizasyon prosedürü kullanılarak filtre katsayıları ayarlanır (Vijay ve Douglas, 1998).

Adaptif filtrelerin genel yapısı Şekil 2.8.' de görüldüğü gibidir ve genel olarak aşağıda tanıtılan bileşenleri içerir:



x(n): Giriş İşareti

y(n): Çıkış İşareti

d(n): İstenen Çıkış İşareti

e(n): Hata İşareti

Şekil 2. 8. Adaptif Filtre Yapısı

- a) **Giriş İşareti (x(n)):** Adaptif filtre tarafından işlenen işarettir. Ses işareti veya başka türde veri gibi zamanla değişen bir işaret olabilir.
- b) **Filtre Katsayıları (w(n)):** Bunlar adaptif filtrelerin ayarlanabilir parametreleridir. Filtre katsayıları, giriş işaretinin çıkışı üretmek için nasıl birleştirileceğini belirler. Bir adaptif filtrede bu katsayılar adaptasyon süreci sırasında aşamalı olarak güncellenir.
- c) **Uyum Algoritması:** Uyum algoritması, filtre katsayılarını giriş işareti ve istenen çıkış arasındaki hataya dayanarak ayarlayan matematiksel bir prosedürdür. Yaygın algoritmalar arasında En Küçük Kareler (LMS) algoritması ve Yinelemeli En Küçük Kareler (RLS) algoritması bulunur.
- d) **İstenen İşaret (d(n)):** Birçok uygulamada, adaptif filtre tarafından üretilmesi amaçlanan bir istenen işaret bulunur. Uyum algoritması, filtre katsayılarını istenen işaret ile gerçek çıkış arasındaki farkı en aza indirmek için ayarlar.
- e) **Toplama (Σ):** Giriş işareti, filtre katsayıları ile çarpılır ve ürünler toplanarak adaptif filtre çıkışını üretir.

f) Hata Hesaplama: İstenen işaret ile gerçek çıkış arasındaki fark hesaplanarak hata belirlenir. Bu hata, adaptasyon algoritması tarafından filtre katsayılarını ayarlamak için kullanılır.

2.7.2. Adaptif filtrelerin Matematiksel Gösterimi:

Adaptif filtreler matematiksel olarak incelendiğinde:

$$y(k) = \sum_{i=0}^{N-1} w(k) x(k - i) \quad (2.5)$$

Burada,

- $y(k)$, n zamanındaki adaptif filtre çıkışını temsil eder.
- $w(k)$, filtre katsayılarıdır.
- $x(k - i)$, i zaman adımıyla gecikmiş giriş işaretidir.
- N , filtre sırasını temsil eder.

Matematiksel gösterimden de anlaşılacağı üzere çıktı yalnızca gecikmeli girdi dizisi $x(k - i)$ 'ye bağlıdır, yani; çıkış sırasından etkilenmez. Bu, tasarlanacak bir geri bildirim mekanizması olmadığı anlamına gelir. Sonlu bir süreye sahip olması ve yinelenmeli olmaması nedeniyle bu filtre tipine FIR filtresi adını verilir (Behrouz, 2013). Uyum algoritması, filtre katsayılarının $w(k)$ giriş işareti, istenen işaret ve aralarındaki hataya dayanarak nasıl güncelleneceğini belirler. Süreç genellikle tekrarlıdır ve filtre, zaman içinde girişteki veya modellenen sistemin değişikliklerine uyum sağlar.

2.8. Adaptif Filtre Türleri

Adaptif filtre türünün seçimi, uygulamanın spesifik gereksinimlerine bağlıdır. Adaptif algoritmalar, temel olarak iki gruptur. İlki, LMS algoritmalarına dayanır. LMS algoritmaları yakınsama oranı sisteme ve giriş istatistiklerine bağlıdır. Bu sebeple düşük yakınsama oranı verir ve sunduğu çözümler yetersiz kalabilir. İkinci grupta ise RLS algoritmaları bulunur. Yüksek performans göstermekle birlikte, daha karmaşıklardır (Meral, 2008).

2.8.1. En Küçük Kareler (Least Mean Squares- LMS) Filtresi

LMS algoritması, istenen ve gerçek çıkış arasındaki ortalama karesel hatayı en aza indirerek filtre parametrelerini ayarlar. Hesaplama açısından verimli olup gerçek zamanlı uygulamalara uygun bir algoritmadır.

Adaptif filtreler kullanılırken, filtre katsayıları hata işareti temel alınarak yinelemeli olarak ayarlanır.

Genel gösterimi (Sanubari, 2006):

$$W(n + 1) = W(n) + \mu X(n)e(n) \quad (2.6)$$

Burada,

- $W(n)$, n iterasyonunda filtre katsayılarının vektörü,
- μ , adım büyüklüğü veya öğrenme oranı,
- $X(n)$, n iterasyonundaki giriş vektörü,
- $e(n)$, n iterasyonundaki hata işareti.

LMS algoritmasının performansı, öğrenme oranı (μ) seçimine bağlıdır (Boukis ve ark., 2010). LMS algoritması, adaptif işaret işleme ve gerçek zamanlı veri işleme görevlerinde basit ve yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. Eğer μ çok küçükse, yakınsama yavaş olur. Eğer μ çok büyükse, algoritma yaklaşıpabilir veya optimal çözüm etrafında salınabilir. Aykırı değerlere ve durağan olmayan ortamlara hassas olabilir. Performans, öğrenme oranının uygun şekilde ayarlanmasına bağlıdır.

2.8.2. Yinelemeli En Küçük Kareler (Recursive Least Squares-RLS) Filtresi

RLS, karesel hatayı minimize etmek için LMS' ye benzer, ancak yinelemeli bir güncelleme stratejisi kullanır. Hızlı yakınsama özelliği ve değişen ortamlara adapte olma yeteneğiyle bilinir. İşaret işleme ve kontrol sistemlerinde kullanılır ve özellikle veri ardışık olarak gelirken kullanılan çevrimiçi tahmin problemleri için uygundur. RLS algoritması, parametre tahminlerini güncelleyerek, yeni veri geldikçe parametre tahminlerini günceller (Haykin, 1991).

RLS adaptif filtresinin temel matematiksel formülü, filtre katsayılarının güncellenmesi ve hatanın minimize edilmesi işlemlerini içerir. RLS algoritması, filtre katsayılarını hesaplarken en küçük kareler yöntemini kullanır (Haykin ve ark., 1997).

RLS algoritmasının kullanımında, önce bir aralık tanımlar, hata karelerinin toplamından oluşan $J(n)$ maliyet fonksiyonunu en küçük hale getirir kademe ağırlıklarını seçerek, yinelemeli süreçte giriş sinyallerinin tahmin gradyan vektörünü temel alan optimal uyarlanabilir yinelemeli algoritmayı elde etmek için ağırlıkları günceller.

$$J(n) = \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} |e(i)|^2 \quad (2.7)$$

Uyarlanabilir özyinelemeli RLS algoritmasının maliyet fonksiyonu, te gösterilen üstel ağırlıklı hata karelerinin toplamından oluşur (Hang ve ark., 2003).

RLS algoritmasının temel matematiksel formülleri:

Filtre Katsayılarının Güncellenmesi:

RLS algoritması, her yeni veri noktası geldiğinde filtre katsayılarını günceller. Filtre katsayılarını güncelleme işlemi, aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$w(n+1) = w(n) + \frac{1}{\lambda} P(n) x(n) e(n) \quad (2.8)$$

- $w(n)$: n -inci adımda filtre katsayılarının vektörü.
- $x(n)$: n . zaman adımında gelen giriş vektörü
- λ : Güncelleme faktörü (bir damping faktörüdür ve yakınsama hızını kontrol eder).
- $P(n)$: Her adımda güncellenen bir kovaryans matrisidir. Aşağıdaki formülle güncellenir:

$$P(n+1) = \frac{1}{\lambda} [P(n) - P(n) x(n) x^T(n) P(n)] \quad (2.9)$$

Burada, λ filtreleme algoritmasının kararlılığını kontrol eden bir parametredir. λ genellikle bir kayma faktörü olarak adlandırılır ve tipik olarak 0 ile 1 arasında bir değer alır (Haykin, 2001).

Hata Hesaplama:

RLS algoritması, filtre çıkışı ile istenen çıkış arasındaki hatayı hesaplar. Hata hesaplama işlemi aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$e(n) = d(n) - w^T(n)x(n) \quad (2.10)$$

- $e(n)$: n -inci adımda hesaplanan hata.
- $d(n)$: İstenen çıkış (n -inci adımda).

2.8.3. Adaptif Fourier Dönüşümü (Adaptive Fourier Transform- AFT)

AFT, giriş işaretinin spektral özelliklerine bağlı olarak filtre parametrelerini uyarlar.

Özellikle frekans alanında adaptif filtreleme için kullanılır.

Adaptif Fourier dönüşümü, analiz sırasında frekans bileşenlerini otomatik olarak ayarlamak için bir adaptasyon mekanizması ekler.

Klasik bir Fourier dönüşümünü incelemek gerekirse:

Verilen bir işaret $x(t)$ ve bir zaman penceresi (window function) $w(t)$ ile başlanır. $x(t)$ işareti genellikle bir zaman serisi verisi olup, $w(t)$ penceresi, belirli bir zaman aralığına odaklanmaya ve bu aralıkta işaretin frekans içeriğini incelemeye olanak tanıyan bir fonksiyondur.

İşaretin pencere ile çarpılması, işaretin belirli bir zaman aralığına sınırlandırmasını sağlar:

$$X_w(t) = x(t)w(t) \quad (2.11)$$

Sonra, bu pencere ile çarpılmış işaretin Fourier dönüşümü alınır. Bu, frekans alanında işaretin temsilinin elde edilmesini sağlar:

$$X_w(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x_w(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (2.12)$$

Bu adımlar, geleneksel Fourier dönüşümü adımlarıdır. Ancak, Adaptif Fourier dönüşümü özel bir adaptasyon mekanizması içerir.

Ses işaretleri için Adaptif Fourier dönüşümü genellikle Gabor dönüşümü veya Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (STFT) gibi yöntemleri içerir.

STFT'nin matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$X(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) w(\tau - t) e^{-j2\pi f \tau} d\tau \quad (2.13)$$

- $X(t, f)$, $x(t)$ işaretinin f frekansındaki bileşeninin t zamanındaki katkısını temsil eder.
- $x(t)$ ses işareti.
- $w(\tau - t)$ pencere fonksiyonu $w(t)$ penceresinin t zamanındaki durumu.
- $e^{-j2\pi f \tau}$ kompleks bir eksponansiyel terimdir, frekans bileşenini temsil eder.

Bu formül, belirli bir zamandaki belirli bir frekansın katkısını ifade eder. Pratikte, bu formül genellikle bir zaman-frekans spektrogramını oluşturmak için bir dizi zaman penceresi boyunca uygulanır (Sejdić ve ark., 2009).

Gabor dönüşümü için ise temel formül şu şekildedir:

$$X(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) g(\tau - t, f) d\tau \quad (2.14)$$

- $X(t, f)$, $x(\tau)$ işaretinin f frekansındaki bileşeninin t zamanındaki katkısını temsil eder.
- $x(\tau)$ ses işareti.
- $g(\tau - t, f)$

Gabor çekirdeği, genellikle şu şekilde ifade edilir:

$$g(\tau - t, f) = w(\tau - t) e^{-j2\pi f(\tau - t)} \quad (2.15)$$

Burada,

- $w(\tau - t)$ pencere fonksiyonu.
- $e^{-j2\pi f(\tau - t)}$ kompleks bir eksponansiyel terimdir, frekans bileşenini temsil eder.

Adaptif Gabor dönüşümü, genellikle Gabor çekirdeğinin parametrelerini belirli bir adaptasyon mekanizması kullanarak ayarlar. Bu adaptasyon mekanizması, çekirdek parametrelerini, örneğin merkez frekansını veya standart sapmasını, zaman içindeki işaret özelliklerine uyacak şekilde ayarlar. Bu mekanizmanın spesifik formülü, kullanılan algoritma ve uygulama bağlamına bağlı olarak değişebilmektedir.

2.8.4. Wiener Filtresi

Wiener filtresi, işaret gürültüsünü azaltmak ve ortalama karesel hatayı minimize etmek için kullanılır. İşaret ve gürültü için istatistiksel bir modeli temel alır ve filtre parametrelerini optimize eder (Almallahmed, 2015). Bir işaretin gürültü tarafından bozulduğu durumlarda, tahmin edilen işaret ile orijinal işaret arasındaki ortalama kare hatayı en aza indirmeyi amaçlayan yaygın bir işlem türüdür. Özellikle bir işaretin gürültü ile bozulduğu durumlarda orijinal işareti mümkün olduğunca doğru bir şekilde kurtarmak istendiğinde kullanışlıdır.

Wiener filtresi frekans alanında çalışır ve temel olarak işaret ve gürültünün istatistiksel olarak bağımsız olduğu varsayımına dayanır. Filtre, işaret ve gürültünün güç spektral yoğunluklarını dikkate alarak frekans bağımlı bir ağırlık hesaplamak için kullanılır. Bu ağırlık, gözlemlenen işaretin Fourier dönüşüne uygulanarak orijinal işaretin bir tahminini elde etmek için kullanılır.

Wiener filtresinin temel fikri aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

$$H(f) = \frac{S_{xx}(f)}{S_{nn}(f) + S_{xx}(f)} \quad (2.16)$$

Burada,

- $H(f)$ Wiener filtresinin frekans tepkisi.
- $S_{xx}(f)$ orijinal işaretin güç spektral yoğunluğu.
- $S_{nn}(f)$ gürültünün güç spektral yoğunluğu.

Wiener filtresi, Fourier dönüşümü alınan gözlemlenen işaretin frekans tepkisi ile çarpılarak frekans alanında uygulanır.

$$Y(f) = H(f)X(f) \quad (2.17)$$

Burada,

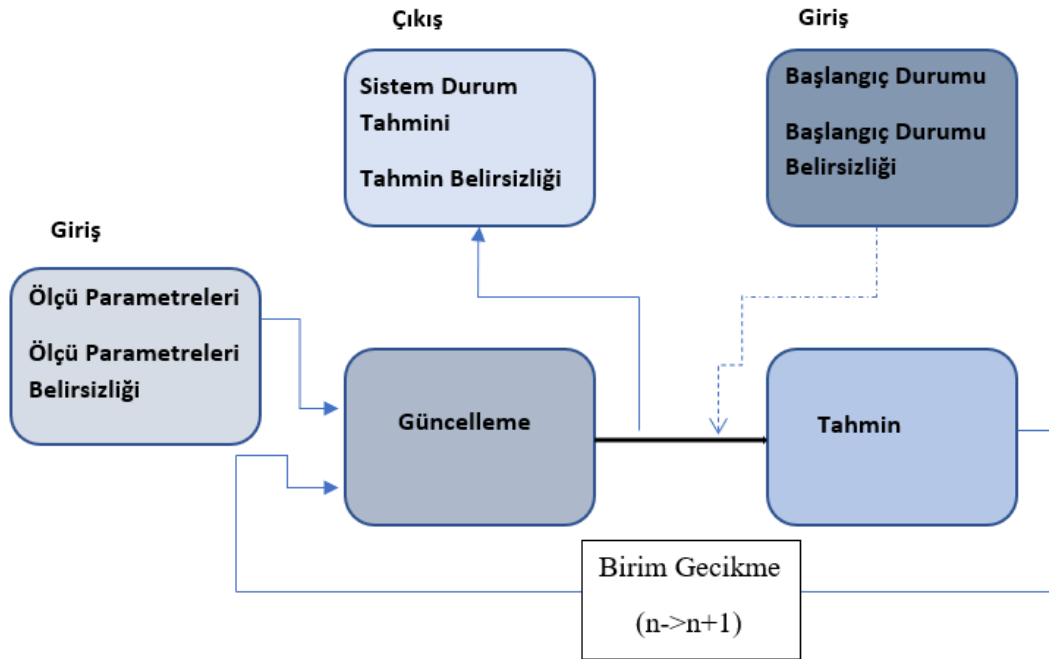
- $Y(f)$ tahmin edilen işaretin Fourier dönüşümü.
- $X(f)$ gözlemlenen işaretin Fourier dönüşümü.

Frekans alanında tahmin edilen işareti elde ettikten sonra, ters Fourier dönüşümü uygulanarak tahmin edilen işaretin zamana bağlı temsilini elde ederiz.

Wiener filtresinin etkinliği, işaret ve gürültü için varsayılan istatistiksel modellerin doğruluğuna bağlıdır. Wiener filtresi, telekomünikasyon, görüntü işleme ve ses işleme gibi çeşitli alanlarda kullanılır, burada işaret ve gürültünün ayrılması yaygın bir problemdir.

2.8.5. Kalman Filtresi

Kalman filtresi, kontrol sistemlerinde, sensör birleştirme ve navigasyon uygulamalarında durum tahmini için yaygın olarak kullanılır. Rudolf E. Kálmán tarafından 1960'lı yıllarda geliştirilmiştir. Kalman Filtresinin genel yapısı Şekil 2.9.'da görülmektedir.



Şekil 2. 9. Kalman Filtresi Yapısı

Gürültülü ölçümler dizisinden bir lineer dinamik sistemin durumunu tahmin etmek için etkili bir özyinelemeli algoritmadır. Matematiksel bir modelden elde edilen tahminleri ölçümlerle birleştirerek sistemin durumunun optimal bir tahminini sağlar (Welch ve Bishop, 1995).

Kalman filtresinde temel adımlar aşağıdaki gibidir (Grover ve Natarajan, 2015):

Tahmin:

Önceki duruma ve sistemin dinamiklerine dayalı olarak, sistemin bir sonraki durumu tahmin edilir. (örneğin, bir matematiksel model). Tahmin hata kovaryansı tahmin edilir.

Durum Tahmini Denklemi:

$$\hat{x}_{k|k-1} = F_k \hat{x}_{k-1|k-1} + B_k u_k \quad (2.18)$$

Burada $\hat{x}_{k|k-1}$ k anındaki tahmin edilen durumdur, F_k durum geçiş matrisidir, $\hat{x}_{k-1|k-1}$ önceki durum tahminidir, B_k kontrol matrisi ve u_k kontrol vektörüdür.

Hata Kovaryansı Tahmini:

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \quad (2.19)$$

Burada $P_{k|k-1}$ tahmin edilen hata kovaryans matrisidir, $P_{k-1|k-1}$ önceki hata kovaryansı, ve Q_k süreç gürültüsünün kovaryans matrisidir.

Güncelleme (Düzeltilme):

Yeni bir ölçüm alınır. Tahmin edilen durumu gerçek ölçümle karşılaştırılır.

Kalman kazancını hesaplanır, bu kazanç tahmin ve ölçüm arasındaki ağırlığı belirler.

Ölçüm ve Kalman kazançlarına dayalı olarak durum tahminini güncellenir. Tahmin hata kovaryansını güncellenir.

Kalman Kazanç Matrisi Denklemi:

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k)^{-1} \quad (2.20)$$

Burada K_k Kalman kazanç matrisidir, H_k ölçüm matrisi ve R_k ölçüm gürültüsünün kovaryans matrisidir.

Güncellenmiş Durum Tahmini:

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k(z_k - H_k \hat{x}_{k|k-1}) \quad (2.21)$$

Burada $\hat{x}_{k|k}$ güncellenmiş durum tahminidir ve z_k k anındaki ölçümdür.

Güncellenmiş Hata Kovaryansı:

$$P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} \quad (2.22)$$

Burada $P_{k|k}$ güncellenmiş hata kovaryans matrisidir ve I birim matristir.

Tekrar:

Yeni ölçümler mevcut olduğunda tahmin ve güncelleme adımlarını tekrarlanır.

Kalman filtresi, tahmin edilen durumun ortalama karesel hatasını en aza indirir ve gürültülü ölçümlerle başa çıkmada etkilidir (Welch ve Bishop, 1995). Özellikle sistemin dinamikleri ve ölçüm gürültüsü biliniyorsa ve lineer denklemlerle tanımlanabiliyorsa kullanışlıdır.

Kalman filtresinin, Extended Kalman Filter (EKF) ve Unscented Kalman Filter (UKF) gibi varyasyonları bulunmaktadır. Bu filtreler, durum, dinamikler ve ölçümler arasındaki ilişkinin kesin olarak lineer olmadığı durumları ele alır.

2.9. Ses İşaretlerinde Performans Ölçümü

Ses işaretlerinde performans ölçümü, ses işleme ve işaret analizi alanlarında kritik bir öneme sahiptir (Huckvale ve ark., 2012). Bu süreç, genellikle işaret-gürültü oranı (SNR), toplam harmonik bozulma (THD), frekans yanıtı ve diğer metriklerin ölçümü ile gerçekleştirilir. Bu ölçümler, ses ekipmanlarının kalitesini değerlendirme, hataları tespit etme ve ses sistemlerini iyileştirmek için temel oluşturur.

Ses işaretlerinin performans ölçümü, aşağıdaki temel adımları içerir:

- **İşaret-Gürültü Oranı (SNR) Ölçümü:** İşaretin gücünün arka plan gürültüsüne oranını ölçer. Yüksek SNR, daha az gürültü ve daha temiz bir işaret anlamına gelir.
- **Toplam Harmonik Bozulma (THD) Analizi:** Ses işaretlerindeki istenmeyen harmoniklerin oranını ölçer. Düşük THD, yüksek ses kalitesini gösterir.

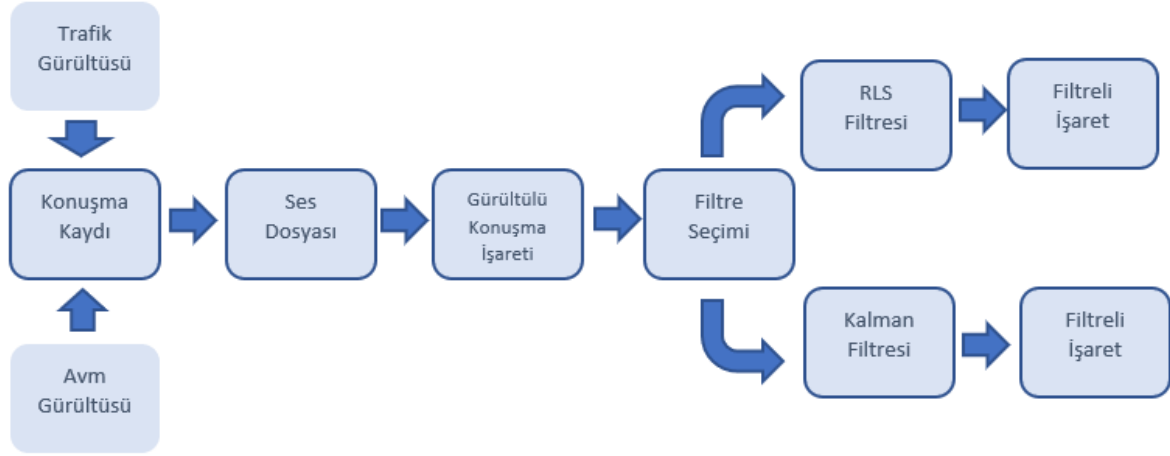
- **Frekans Yanıtı Testi:** Bu test, bir ses sisteminin farklı frekanslardaki performansını analiz eder. İdeal bir ses sistemi, geniş bir frekans aralığında tutarlı bir çıkış sağlamalıdır.
- **Zaman Alanı Analizi:** Bu analiz, işaretin zaman içinde nasıl değiştiğini inceler ve geçici tepki gibi özelliklerini değerlendirir.
- **Spektral Analiz:** Fourier dönüşümü gibi yöntemler kullanılarak işaretin frekans bileşenlerini incelemeyi içerir.
- **Dinamik Aralık Testi:** Bu test, sistemin en düşük ve en yüksek ses seviyeleri arasındaki farkı ölçer.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Sistem Tasarımı

Bu çalışma, iletişim ihtiyaçları doğrultusunda konuşma işaretlerindeki gürültünün adaptif filtreler ile azaltılması konusunu detaylı olarak incelemek üzere tasarlanmıştır. Sistemin genel ilerleyişine ait akış diyagramı Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3. 1. Konuşma İşaretinin Adaptif Filtreleme Süreci

Bu konuda önemli olan unsurlardan biri sesin temel özellikleridir. Ses, genellikle frekans, Amplitüd ve zaman bileşenlerinden oluşur (Pu, 2005). Frekans, ses dalgasının titreşim sayısını temsil eder; Amplitüd, sesin şiddetini belirtir; zaman ise sesin bir süre içindeki değişimini ifade eder. Sesin frekans bileşenleri, sesin içerdiği farklı frekans aralıklarını temsil eder. İnsan sesi genellikle belirli bir frekans aralığında bulunur ve konuşma işaretleri üzerindeki gürültü, bu frekans bileşenlerini bozabilir. Bu noktada, adaptif filtreleme teknikleri devreye girer. Adaptif filtreler, çevresel gürültüyü algılar ve ardından bu gürültüyü ortadan kaldırmak için filtre parametrelerini otomatik olarak ayarlar (Kaunitz, 1972). Konuşma işaretlerinin özellikleri arasında, vokal özellikler, tonlamalar, vurgular ve konuşma hızı gibi faktörler bulunur. Bu özellikler, konuşmanın anlamını ve duygusal içeriğini taşıyan önemli unsurlardır. Adaptif filtreler, bu özellikleri koruyarak çevresel gürültüyü azaltmaya çalışır, böylece iletişim kalitesini artırır. Sonuç olarak, iletişim ihtiyaçları doğrultusunda konuşma işaretlerindeki gürültünün azaltılması için adaptif filtreleme yöntemleri, sesin temel özelliklerini, konuşma

işaretlerinin özelliklerini dikkate alır. Bu sayede, net ve anlaşılır iletişim sağlanması adına gürültünün azaltılmasına çalışılır.

3.2. Veri Toplama

Bu çalışmada veri olarak açık ve kapalı alan olmak üzere iki farklı ortamda kayıt altına alınmış, trafik ve avm gürültüsü şeklinde gürültü barındıran kadın sesi kaydı ile referans ses olarak gürültüsüz ortamda kayıt altına alınan kadın sesi ses kaydı işaretleri kullanılmıştır.

Gürültü	Ses İşareti
Gürültüsüz	temiz.wav
Trafik	trafik.wav
Avm	avm.wav

Tablo 3. 1. Örnek Veri Seti

Bu ses kayıtları Tablo 3.1’de, doğal koşullar altında ve rastgele olarak alınmıştır.

İçerik olarak eşit sürelerde: “Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı” cümlesi iki defa tekrar edilmiştir. Kayıt süresi 10 sn.’dir.

3.3. Geliştirme Ortamı

Çalışmanın güçlü bir bilgisayar üzerinde hızlı geliştirilmesi ve geliştirilen modelin daha sonraki süreçte dağıtılabilmesi adına bulut ortamına ihtiyaç duyulmuştur. Bu kapsamda 12 saat ücretsiz bulut sunucu tahsisi sağlayan Google Colab ortamı kullanılmıştır. Geliştirme ortamına ait özellikler Tablo 3.2.’de gösterilmiştir.

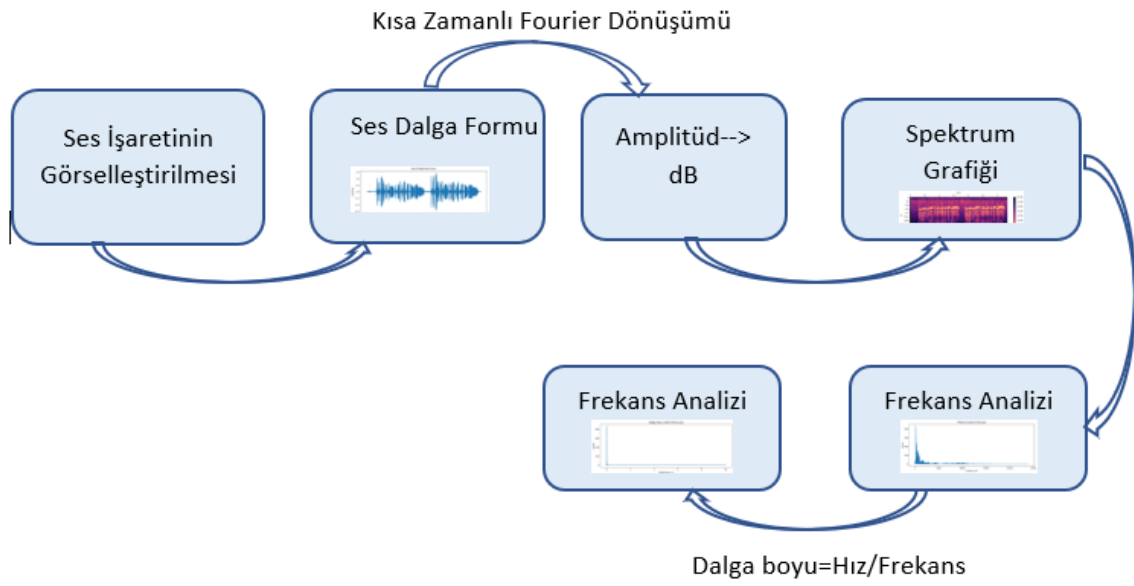
Bileşen	Değer
CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.30GHz
RAM	13 GB
Disk	100 GB
Ekran Kartı	Tesla K80

Tablo 3. 2. Geliştirme Ortam Özellikleri

3.4. Veri

3.4.1. Kullanılan Ses İşaretlerinin İncelenmesi

İlk olarak ses işaretlerinin görselleştirilmesiyle başlanır. Ses işaretleri görselleştirildikten sonra ses dosyası yüklenir ve sesin dalga formu gösterilir, sesin kısa zamanlı Fourier dönüşümü yapılarak ve amplitüd değerleri desibel cinsine çevrilir. Bu işlemler sonrasında sese ait spektrum grafiği oluşur. Sesin frekans domeninde temsili sağlanarak frekans analizi yapılır. Dalga boyu=hız/frekans hesabıyla dalga boyları hesaplanarak, dalga boyu grafiği çizilir. Sırasıyla izlenen yol Şekil 3.2.'de görülmektedir.

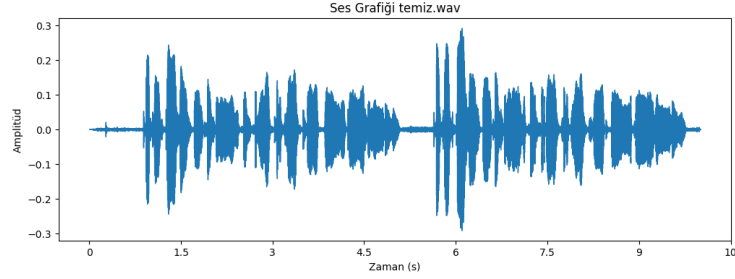


Şekil 3. 2. Ses İşaretlerinin İncelenmesi

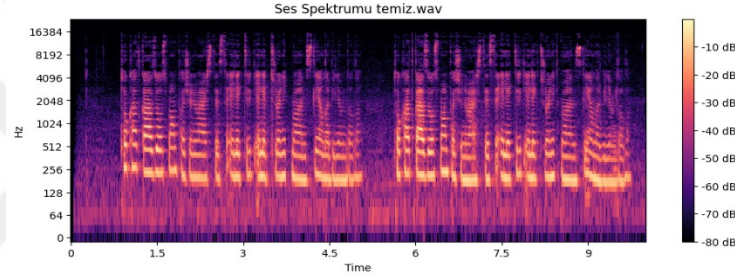
Filtrelemede kullanılacak olan üç farklı ses kaydının filtreleme öncesi analizleri aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

a. temiz.wav Ses İşareti

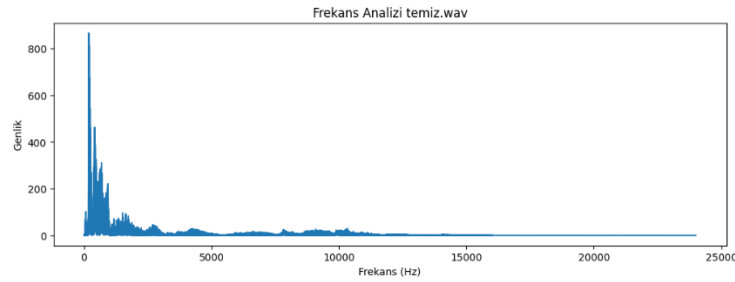
Aşağıda gürültü içermeyen ses işaretine ait dalga formu Şekil 3.3.'te, spektrum grafiği Şekil 3.4.'te, frekans analizi Şekil 3.5.' te ve dalga boyu analizleri Şekil 3.6.'da grafiksel olarak gösterilmektedir.



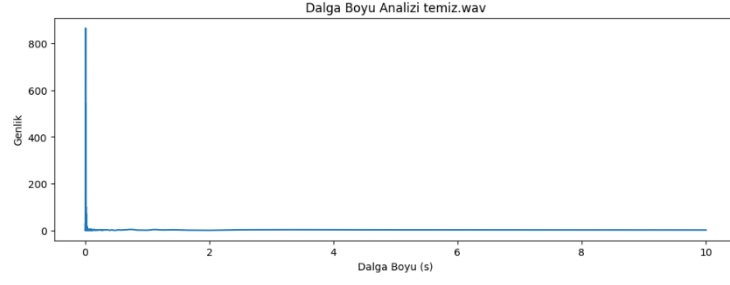
Şekil 3. 3. temiz.wav Ses İşaretlerinin Dalga Formu



Şekil 3. 4. temiz.wav Ses İşaretlerinin Spektrumu



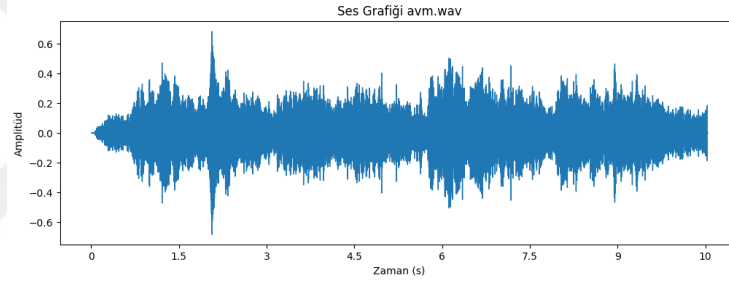
Şekil 3. 5. temiz.wav Ses İşaretlerinin Frekans Analizi



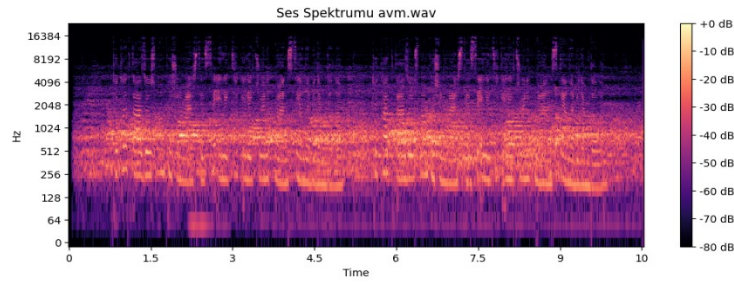
Şekil 3. 6. temiz.wav Ses İşaretlerinin Dalga Boyu Analizi

b. avm.wav Ses İşareti

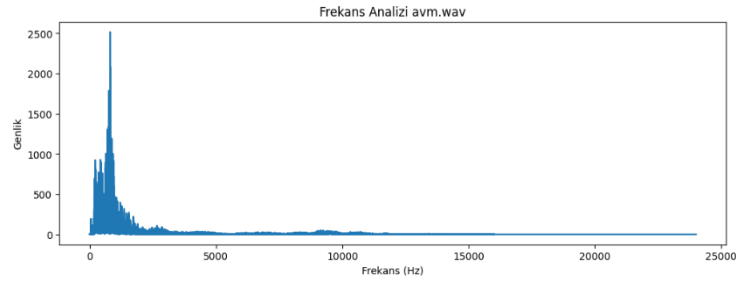
Bu kısımda da avm ortamında kayda alınmış ses işaretine ait dalga formu Şekil 3.7.’te, spektrum grafiği Şekil 3.8.’te, frekans analizi Şekil 3.9.’te ve dalga boyu analizleri Şekil 3.10.’da grafiksel olarak bulunmaktadır. (bkz. Syf. 49)



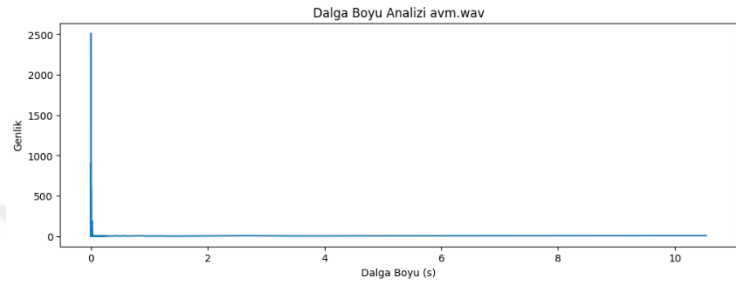
Şekil 3. 7. avm.wav Ses İşaretlerinin Dalga Formu



Şekil 3. 8. avm.wav Ses İşaretlerinin Spektrumu



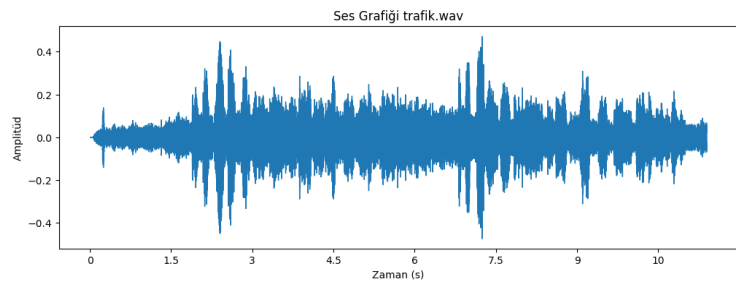
Şekil 3. 9. avm.wav Ses İşaretlerinin Frekans Analizi



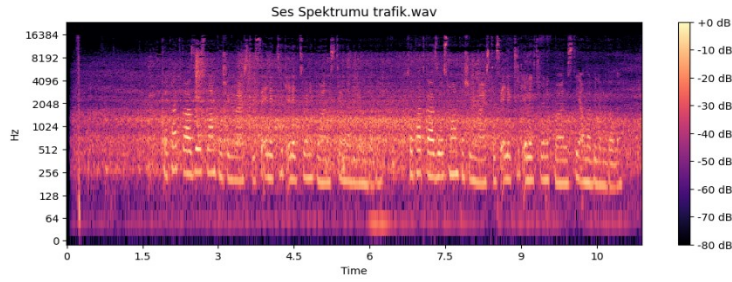
Şekil 3. 10. avm.wav Ses İşaretlerinin Dalga Boyu Analizi

c. trafik.wav Ses İşareti

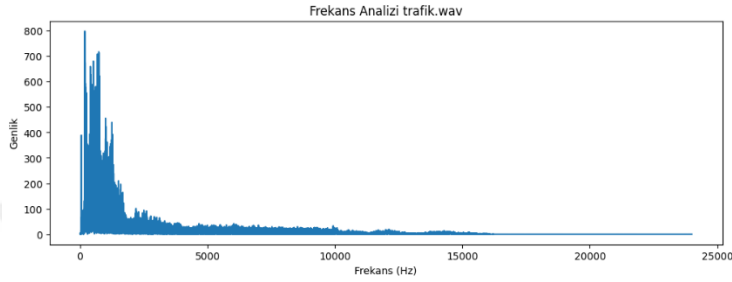
Aşağıdaki grafiklerde trafik ortamında kayda alınmış ses işaretine ait dalga formu Şekil 3.11.'de, spektrum grafiği Şekil 3.12.'te, frekans analizi Şekil 3.13.'te ve dalga boyu analizlerini Şekil 3.14.'te gösteren grafik görüntüleri bulunmaktadır.



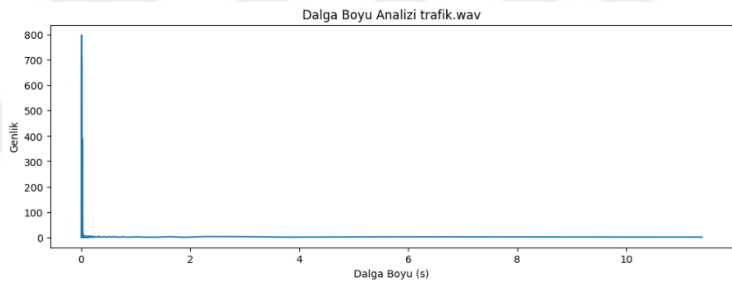
Şekil 3. 11. trafik.wav Ses İşaretlerinin Dalga Formu



Şekil 3. 12. trafik.wav Ses İşaretlerinin Spektrumu



Şekil 3. 13. trafik.wav Ses İşaretlerinin Frekans Analizi



Şekil 3. 14. trafik.wav Ses İşaretlerinin Dalga Boyu Analizi

3.4.2. Konuşma İşaretlerindeki Gürültüler için Adaptif Filtrelerin Kullanılması

Konuşma işaretlerindeki gürültü iletişimde istenmeyen bir etki olduğu için adaptif filtrelerin kullanımı, modern iletişim ve ses işleme teknolojilerinde önemli bir rol oynar (Sambur, 1978). Bu süreç, çeşitli algoritmalar ve teknikler kullanılarak gerçekleştirilir.

Adaptif Filtreler: Adaptif filtreler, değişken ortam koşullarına dinamik olarak uyum sağlayabilen dijital filtrelerdir. Bu filtreler, giriş işaretine bağlı olarak kendi parametrelerini (katsayılarını) otomatik olarak ayarlarlar.

Gürültü Türleri: Konuşma işaretlerindeki gürültü, arka plan sesleri, yankılar, parazitler veya sistemden kaynaklanan rastgele gürültüler olabilir (Sambur, 1978).

Genel hatlarıyla konuşma işaretlerindeki gürültüyü adaptif filtrelerle giderme sürecini ele alacak olursak:

- **Gürültü Tanımlama:** Sistem, öncelikle gürültü içeren konuşma işaretini tanımlar. Bu, genellikle işaretin spektral analizi veya istatistiksel özelliklerinin incelenmesiyle yapılır.
- **Referans İşaret:** Gürültüyü azaltmak için, sistem genellikle referans bir gürültü işareti kullanır. Bu referans, gürültüyü modellemek ve onu ana konuşma işaretinden ayırmak için gereklidir.
- **Algoritma Seçimi:** Adaptif filtreler, farklı algoritmalar kullanarak çalışır. Bu algoritmaların seçimi, uygulamanın gereksinimlerine ve performans beklentilerine bağlıdır.
- **Filtre Ayarlaması:** Algoritma, filtrenin katsayılarını, gürültüyü etkili bir şekilde azaltacak şekilde ayarlar. Bu işlem, gerçek zamanlı olarak ve sürekli bir şekilde gerçekleşir.
- **Hata Minimizasyonu:** Sistem, filtrenin çıkışındaki hata işaretini (yani, istenen işaret ile filtre çıkışı arasındaki farkı) analiz ederek filtrenin performansını sürekli olarak iyileştirir.

3.5. Adaptif Filtrelerin Konuşma İşaretlerine Uygulanması

3.5.1. Kalman Filtresinin Uygulanması

Kütüphanelerin İçe Aktarılması:

numpy: Sayısal veri işleme ve matris işlemleri için kullanılan bir kütüphane.

soundfile: Ses dosyalarını okumak ve yazmak için kullanılır.

librosa: Ses işleme ve analizi için kullanılan bir kütüphane.

matplotlib.pyplot: Veri görselleştirme için kullanılır.

Giriş Ses İşaretlerinin Yüklenmesi:

librosa.load: 'temiz.wav' adlı ses işaretini yükler ve iki değer döndürür: ses işareti (giris_sesi) ve örnek hızı (ornek_hizi).

Gürültü Ses İşaretinin Yüklenmesi:

librosa.load ile belirtilen gürültü ses işareti yüklenir.

Kalman Filtresi Fonksiyonu (kalman_filter):

Fonksiyon, bir dizi ses örneği (ses) alır ve bu örneklerle bir Kalman filtresi uygular. R ve Q parametreleri, sürecin ve gözlem hatasının kovaryanslarını temsil eder. Başlangıç tahminleri belirlenir. İlk ses örneği, ilk tahmin edilen değere atanır ve başlangıç hata kovaryansı 1 olarak ayarlanır. Her adımda, tahmin güncellenir ve ardından ölçüm güncellemesi yapılır. Bu, Kalman filtresinin temel işleyiştir.

```
def kalman_filter(ses, R=0.1, Q=1e-6):  
    # Başlangıç tahminleri  
    n = len(ses)  
    tahmin = np.zeros(n)  
    hata_kovaryans = np.zeros(n)  
    tahmin[0] = ses[0]  
    hata_kovaryans[0] = 1  
  
    for k in range(1, n):  
        # Tahmin Güncelleme  
        tahmin[k] = tahmin[k-1]  
        hata_kovaryans[k] = hata_kovaryans[k-1] + Q  
  
        # Ölçüm Güncelleme  
        K = hata_kovaryans[k] / (hata_kovaryans[k] + R)  
        tahmin[k] = tahmin[k] + K * (ses[k] - tahmin[k])  
        hata_kovaryans[k] = (1 - K) * hata_kovaryans[k]  
  
    return tahmin
```

Şekil 3. 15. Kalman Filtresi Uygulama

Genel anlamda özetlenecek olursa, ilk olarak, bir ses işaret dosyası yüklenir (dosya_ismi.wav). Daha sonra, yüklenen ses işareti Şekil 3.15.'te görüldüğü üzere Kalman filtresinden geçirilir ve temizlenmiş ses elde edilir. Temizlenmiş ses, aynı işaret ismiyle kaydedilir, sadece sonuna "filtrelenmis_ses_kalman.wav" eklenerek kaydedilir. Son olarak, giriş sesi ve temizlenmiş ses zaman domaininde görselleştirilir.

Sonucun Kaydedilmesi ve Giriş/Çıkış İşaretlerinin Görselleştirilmesi:

Gürültüden arındırılmış ses, soundfile.write ile belirtilen dosya ismiyle kaydedilir. matplotlib.pyplot kullanılarak, hem orijinal giriş sesi hem de gürültü azaltılmış ses, zaman domaininde görselleştirilir. Bu, sesin nasıl değiştiğini görmek için kullanılır.

3.5.2. RLS Filtresinin Uygulanması

Gerekli Kütüphanelerin İçe Aktarılması:

numpy: Bilimsel hesaplamalar için kullanılan bir kütüphane.

soundfile: Ses dosyalarını okumak ve yazmak için kullanılan bir kütüphane.

matplotlib.pyplot: Verileri görselleştirmek için kullanılan bir kütüphane.

Ses Dosyalarını Yükleme:

giris_sesi, sr = sf.read(f'{dosya_ismi}.wav'): Giriş ses işaretinin (gürültülü ses) Yüklenen ses dosyasının zaman serisi verisi. Bu veri, sesin amplitude (genlik) değerlerini içerir ve örnekleme oranını (sr) yükler.

Soundfile kütüphanesinin read fonksiyonunu kullanarak belirtilen işaret ismine sahip bir WAV dosyasını yükler. Giriş_sesi değişkeni, ses işaretinin ses verilerini içerir. sr değişkeni, ses dosyasının örnekleme oranını (saniyede kaç örnek olduğunu) içerir. f'{dosya_ismi}.wav' ifadesi, .wav uzantılı bir dosya ismi belirtir. Burada dosya_ismi, Python kodunda daha önce belirlenmiş bir değişken olmalıdır.

referans_sesi, _ = sf.read('temiz.wav'): Referans temiz ses dosyasını yükler. Bu, gürültünün azaltılmasında kullanılacak. Soundfile kütüphanesinin read fonksiyonunu kullanır, ancak burada hedef 'temiz.wav' adlı bir dosyadır. referans_sesi değişkeni, 'temiz.wav' dosyasından yüklenen ses verilerini içerir. Bu ses, genellikle gürültüsüz veya istenilen ses kalitesine sahip bir örnektir.

Ses Dosyalarını Aynı Uzunluğa Getirme:

Giriş ve referans ses dosyalarının uzunluklarını eşitlemek için, ikisinin de uzunluğunu minimum uzunluğa kısaltır.

RLS Filtresi Parametreleri:

M: Filtrenin uzunluğu.

delta: İzleme katsayısı, filtre başlangıç durumunu etkiler.

lmbda: Unutma katsayısı, eski verilere verilen ağırlığı kontrol eder.

$M = 32$: Filtre Uzunluğu, M değişkeni, RLS filtresinin uzunluğunu belirtir. Burada değeri 32 olarak ayarlanmıştır. Bu değer, filtrenin ne kadar geçmiş veriyi dikkate alacağını belirler. Büyük bir M değeri, filtrenin daha fazla geçmiş veriyi kullanmasını sağlar, bu da teorik olarak daha iyi gürültü azaltma performansına yol açabilir ancak hesaplama karmaşıklığını ve gecikmeyi artırabilir.

$\delta = 1.0$: İzleme Katsayısı δ değişkeni, filtre matrisinin başlangıç durumunu etkiler. Bu parametre, filtrenin başlangıçta ne kadar hızlı uyum sağlayacağını belirler. Genellikle, bu değer filtre matrisinin başlangıç durumunu belirlemek için kullanılır. 1.0 gibi bir değer, filtre matrisinin başlangıçta orta seviye bir duyarlılıkla başlamasını sağlar.

$\lambda = 0.99$: Unutma Katsayısı, λ değişkeni, filtre ağırlıklarının zamanla nasıl güncelleneceğini belirleyen unutma katsayısıdır. Bu katsayı, eski verilere ne kadar ağırlık verileceğini belirler. 0.99 gibi yüksek bir değer, geçmiş verilerin daha uzun süre dikkate alınmasını sağlar, bu da filtre ağırlıklarının daha yavaş değişmesine neden olur. Daha düşük bir değer, filtre ağırlıklarının daha hızlı güncellenmesine ve böylece daha hızlı bir uyum sağlamasına yol açar.

Bu parametreler, RLS filtresinin performansını ve davranışını önemli ölçüde etkiler. İdeal parametre değerleri, uygulamanın gereksinimlerine ve işlenen işaretin özelliklerine bağlı olarak değişebilir.

RLS Filtresi Uygulama Fonksiyonu (rls_filter):

Bu fonksiyon, giriş sesine RLS filtresini uygular. Giriş sesi, referans ses, filtre uzunluğu, izleme ve unutma katsayıları parametre olarak alınır. Filtre, her adımda giriş işaretinin geçmiş verilerini kullanarak ağırlıkları günceller ve gürültüyü azaltmaya çalışır.

```

# RLS filtresi parametreleri
M = 32 # Filtre uzunluğu
delta = 1.0 # İzleme katsayısı
lmbda = 0.99 # Unutma katsayısı

# RLS filtresi uygulama fonksiyonu
def rls_filter(giris_sesi, referans_sesi, M, delta, lmbda):
    N = len(giris_sesi)
    x = np.zeros((M, N))
    w = np.zeros((M, N))
    P = np.eye(M) / delta
    y = np.zeros(N)

    for n in range(M, N):
        x[:, n] = giris_sesi[n-M:n][::-1] # Ters çevrilmiş filtre girişi
        k = P @ x[:, n] / (lmbda + x[:, n].T @ P @ x[:, n])
        e = referans_sesi[n] - w[:, n-1].T @ x[:, n]
        w[:, n] = w[:, n-1] + k * e
        P = (P - k.reshape(-1, 1) @ x[:, n].reshape(1, -1) @ P) / lmbda
        y[n] = w[:, n].T @ x[:, n]

    return y

# RLS filtresini uygula
temizlenmis_ses = rls_filter(giris_sesi, referans_sesi, M, delta, lmbda)

```

Şekil 3. 16. RLS Filtresi Uygulama

- N: Giriş sesinin uzunluğudur.
- x: Her adımda güncellenen, filtre girişini temsil eder. Bu, geçmiş M örneği içerir.
- w: Her adımda güncellenen filtre katsayılarıdır.
- P: Hata kovaryans matrisi, tahmin edilen hata varyansını temsil eder ve her adımda güncellenir.
- y: Filtrenin çıkışıdır, yani temizlenmiş ses sinyali.
- Döngü, M'den başlayarak N'ye kadar her örnek için çalışır.
- x[:, n]: Şu anki zaman noktasında, geçmiş M örneğin alınması ve ters çevrilmesi.
- k: Kazanç vektörü, filtre katsayılarının ne kadar değişeceğini belirler.
- e: Hata sinyali, referans ses ile filtre çıkışı arasındaki fark.
- w[:, n]: Güncellenen filtre katsayıları.
- P: Güncellenen hata kovaryans matrisi.

RLS Filtresinin Uygulanması:

Şekil 3.16.' da görüldüğü üzere filtre yukarıdaki adımlar uygulandıktan sonra, rls_filter fonksiyonu çağrılarak giriş sesine filtre uygulanır ve 'temizlenmis_ses' değişkenine atanır. Matplotlib kullanılarak giriş sesi ve temizlenmiş ses görselleştirilir. 'sf.write' komutu ile de temizlenmiş ses dosyasını yeni bir dosya olarak kaydeder.

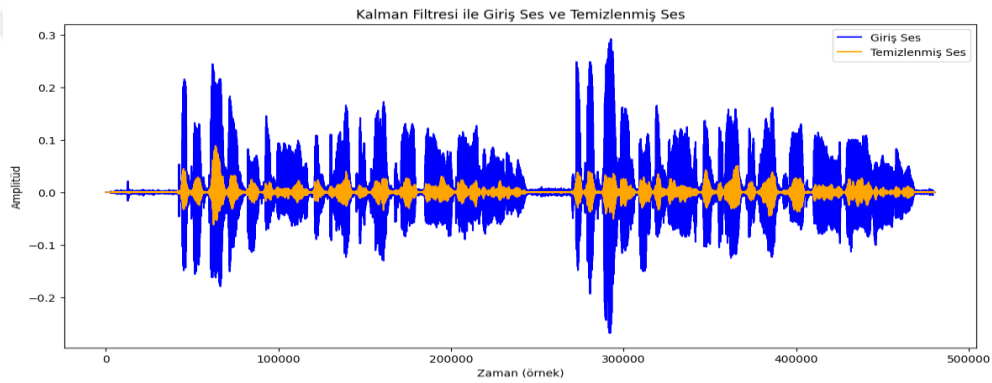
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Kalman Filtresi Uygulanmış İşaretlerin Analizi

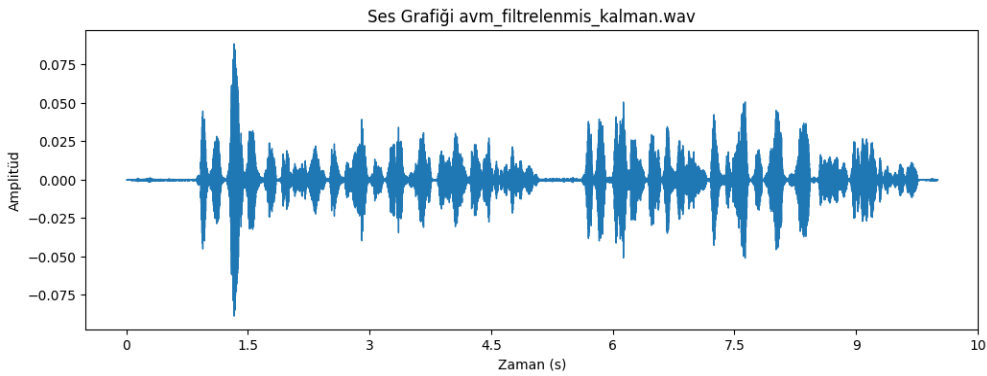
Kalman filtresi uygulandıktan sonra avm.wav ve trafik.wav ses işaretlerinde azaltılan gürültülerin grafik gösterimleri 4.1.1. ve 4.1.2. bölümlerinde gösterilmiştir.

4.1.1. avm.wav Ses İşareti

avm.wav ses işaretlerinde Kalman filtresi uygulanması sonucu oluşan ses işaretlerine ait grafikler görülmektedir. Şekil 4.1.'de Kalman Filtresi uygulanmış avm gürültülü ses işaretine ait giriş çıkış dalga formu, Şekil 4.2.' de Kalman Filtresi uygulanmış işarete ait dalga formu, gösterilmiştir.

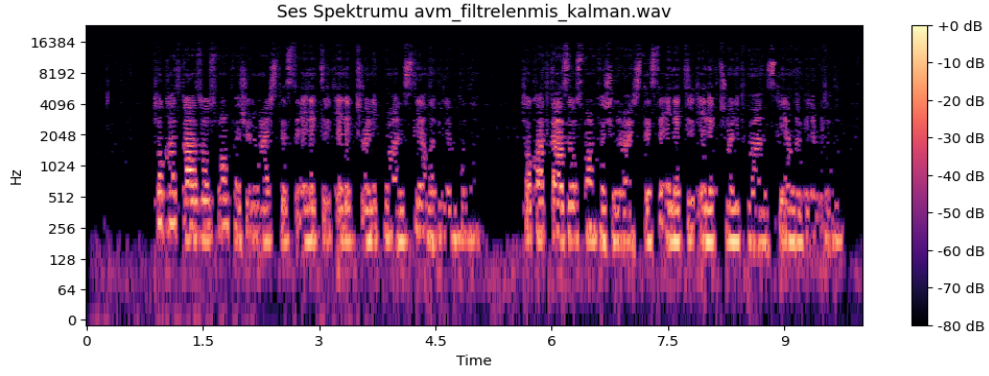


Şekil 4. 1. Kalman Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Giriş-Çıkış Dalga Formu

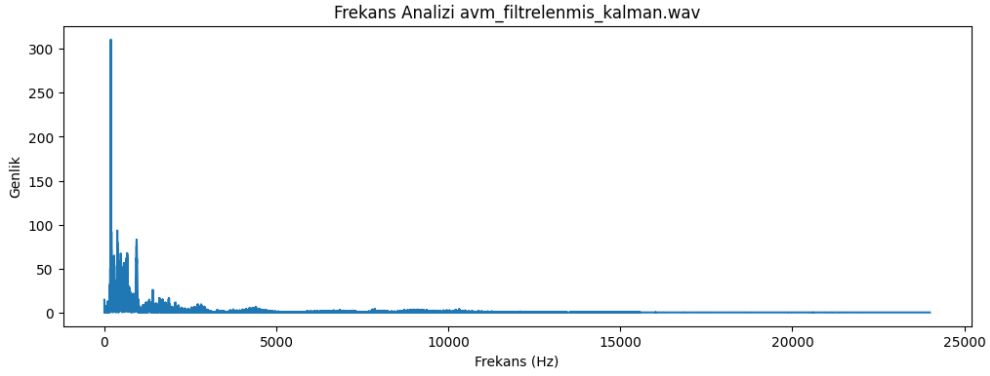


Şekil 4. 2. Kalman Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Dalga Formu

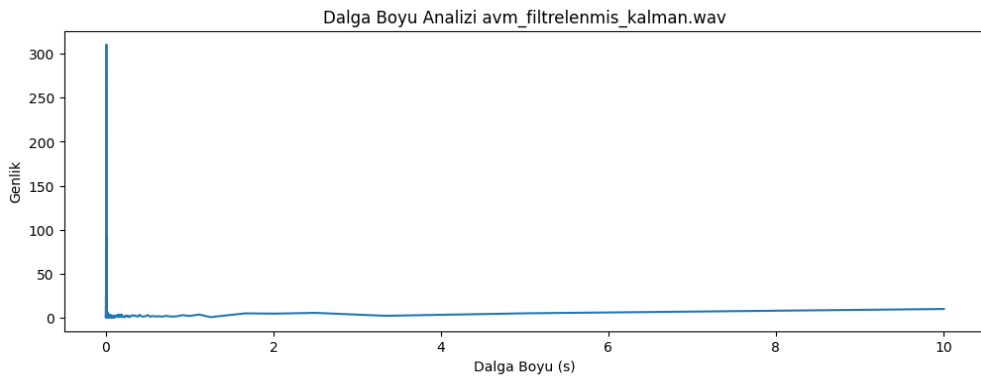
Şekil 4.3.'te Kalman Filtresi uygulanmış avm gürültülü ses işaretine ait spektrum grafiği, Şekil 4.4.'te Kalman Filtresi uygulanmış avm.wav ses işaretinin frekans analizi, Şekil 4.5.'te ise Kalman Filtresi uygulanmış avm.wav ses işaretinin dalga boyu analizi görülmektedir.



Şekil 4. 3. Kalman Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Spektrumu



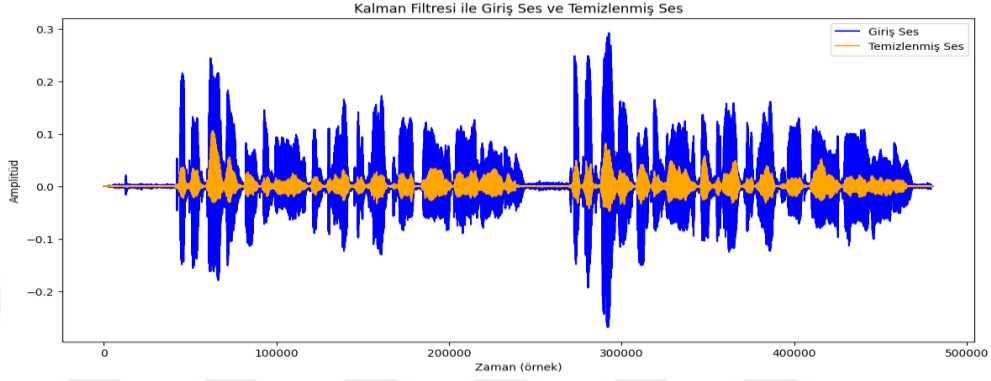
Şekil 4. 4. Kalman Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Frekans Analizi



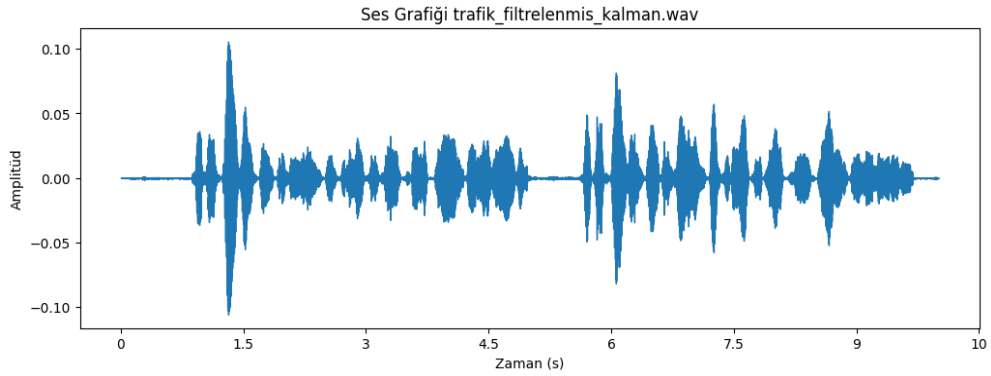
Şekil 4. 5. Kalman Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Dalga Boyu Analizi

4.1.2. trafik.wav Ses İşareti

trafik.wav ses işaretlerinde Kalman filtresi uygulanması sonucu oluşan ses işaretlerine ait grafikler görülmektedir. Şekil 4. 6.'da Kalman Filtresi uygulanmış trafik.wav ses işaretinin giriş-çıkış dalga formu, Şekil 4. 7.'de Kalman Filtresi uygulanmış trafik.wav ses işaretine ait dalga formu gösterilmiştir.

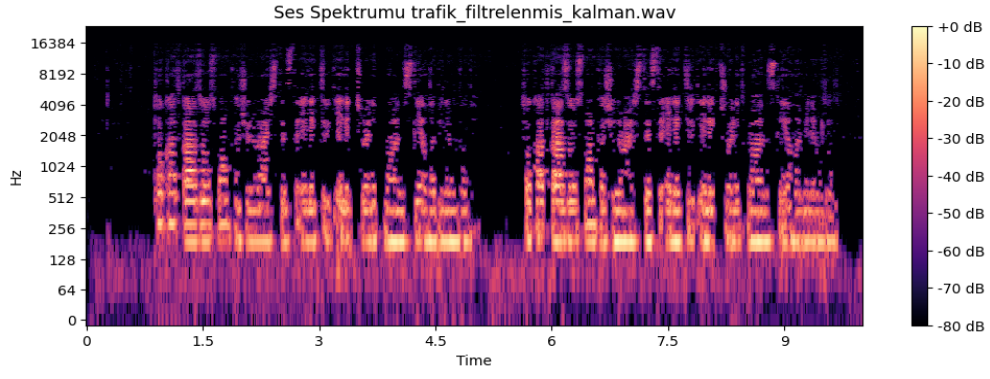


Şekil 4. 8. Kalman Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Giriş-Çıkış Dalga Formu

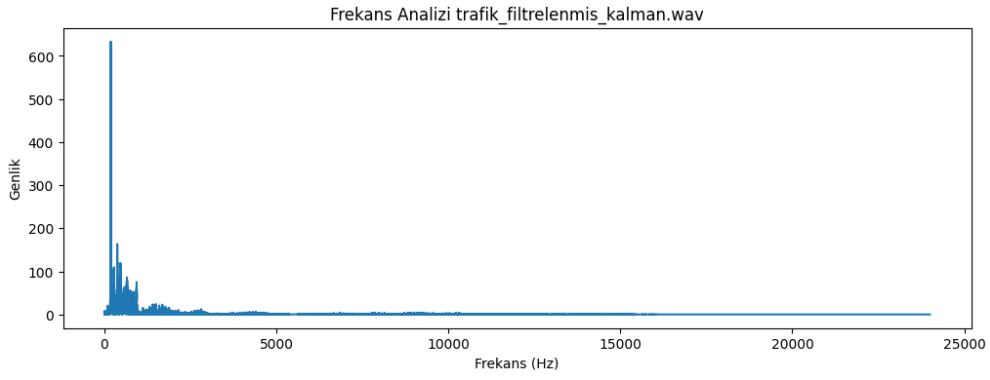


Şekil 4. 9. Kalman Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Dalga Formu

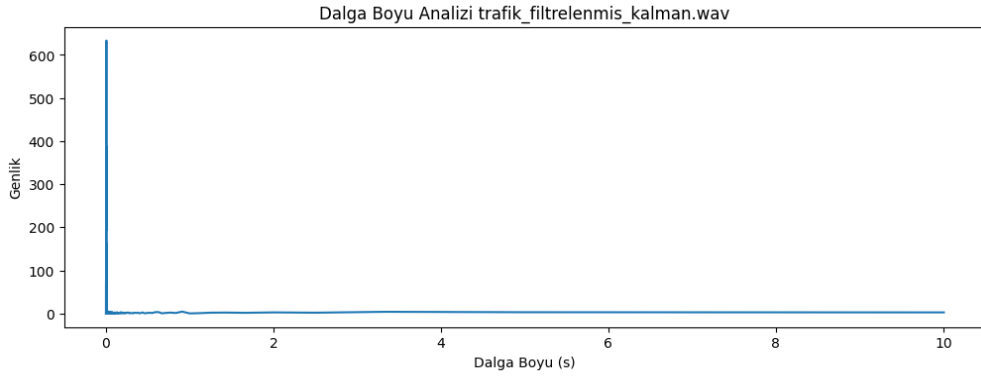
Şekil 4. 10.' de Kalman Filtresi uygulanmış trafik.wav ses işaretinin spektrumu, Şekil 4. 11.'da Kalman Filtresi uygulanmış trafik.wav ses işaretinin frekans analizi, Şekil 4. 12.'da Kalman Filtresi uygulanmış trafik.wav ses işaretinin dalga boyu analizi görülmektedir.



Şekil 4. 13. Kalman Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Spektrumu



Şekil 4. 14. Kalman Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Frekans Analizi



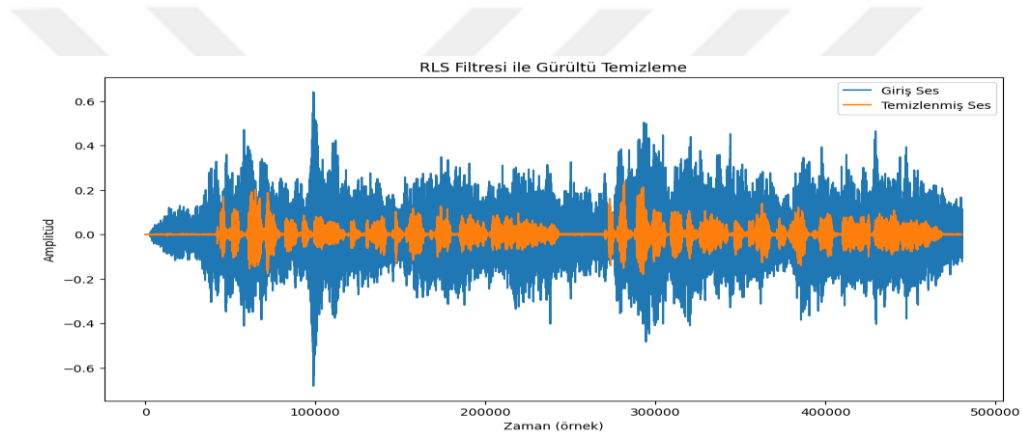
Şekil 4. 15. Kalman Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Dalga Boyu Analizi

4.2. RLS Filtresi Uygulanmış İşaretlerin Analizi

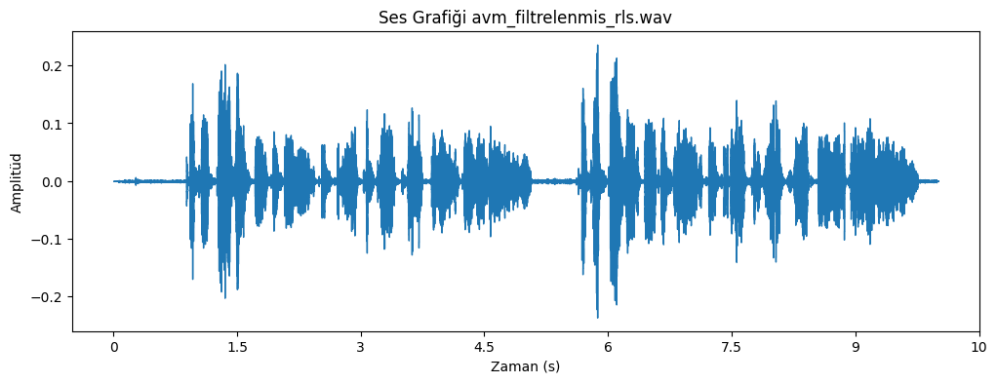
RLS filtresi uygulanırken, RLS parametreleri, M:32, delta:1.0, lmbda:0.99 olarak alınmıştır. RLS filtresi uygulandıktan sonra, avm.wav ve trafik.wav ses işaretlerinde azaltılan gürültülerin grafik gösterimleri 4.2.1. ve 4.2.2. bölümlerinde gösterilmiştir.

4.2.1. avm.wav Ses İşareti

avm.wav ses işaretlerinde RLS filtresi uygulanması sonucu oluşan ses işaretlerine ait grafikler görülmektedir. Şekil 4. 16.'de RLS Filtresi uygulanmış avm.wav ses işaretinin giriş-çıkış dalga formu, Şekil 4. 17.'de RLS filtresi uygulanmış avm.wav ses işaretinin dalga formu olarak aşağıda gösterilmiştir.

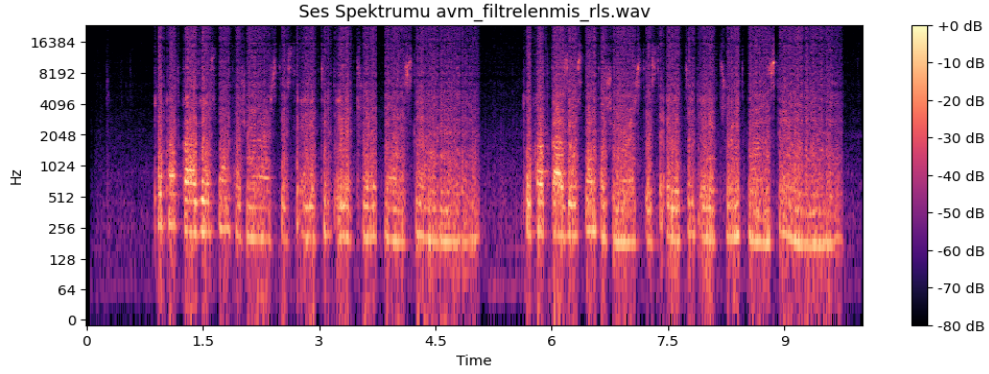


Şekil 4. 18. RLS Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Giriş-Çıkış Dalga Formu

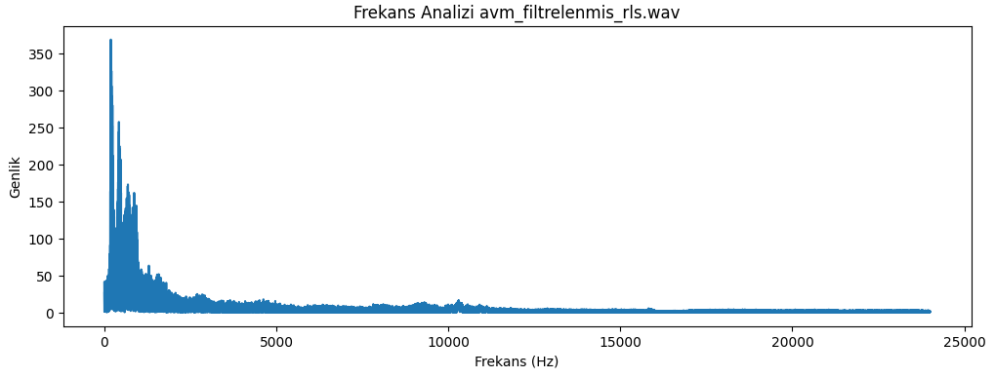


Şekil 4. 19. RLS Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Dalga Formu

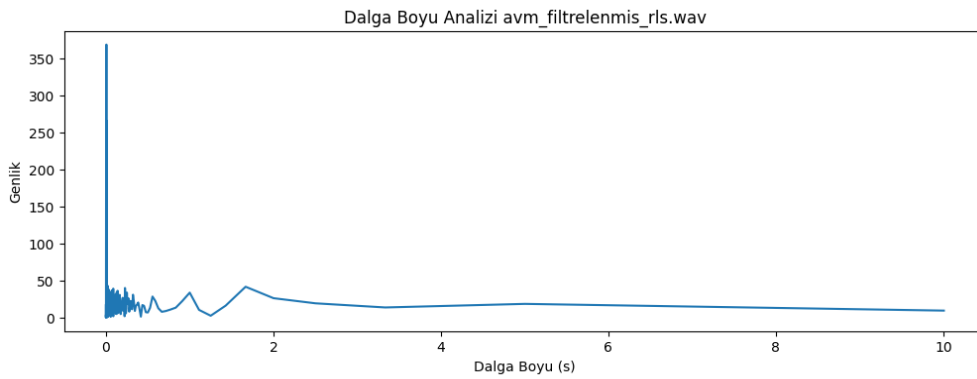
Şekil 4. 20.'te RLS Filtresi uygulanmış avm.wav ses işaretinin spektrumu, Şekil 4. 21.'de RLS Filtresi uygulanmış avm.wav ses işaretinin frekans analizi, Şekil 4. 22.'te ise RLS Filtresi uygulanmış avm.wav ses işaretinin dalga boyu analizi görülmektedir.



Şekil 4. 23. RLS Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Spektrumu



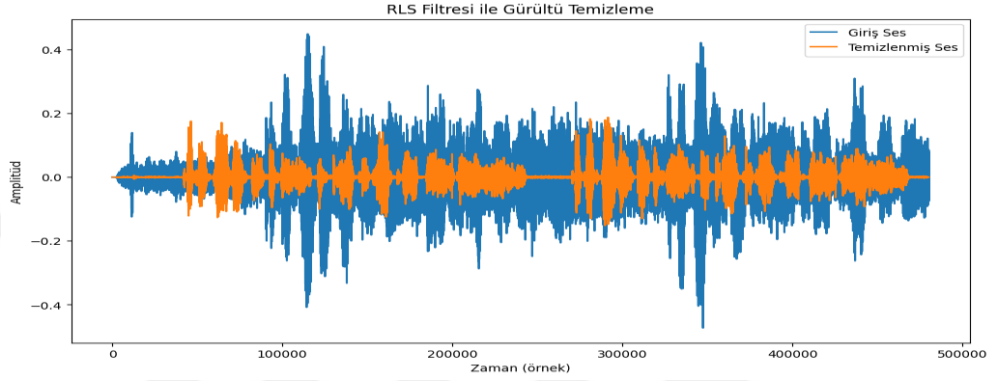
Şekil 4. 24. RLS Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Frekans Analizi



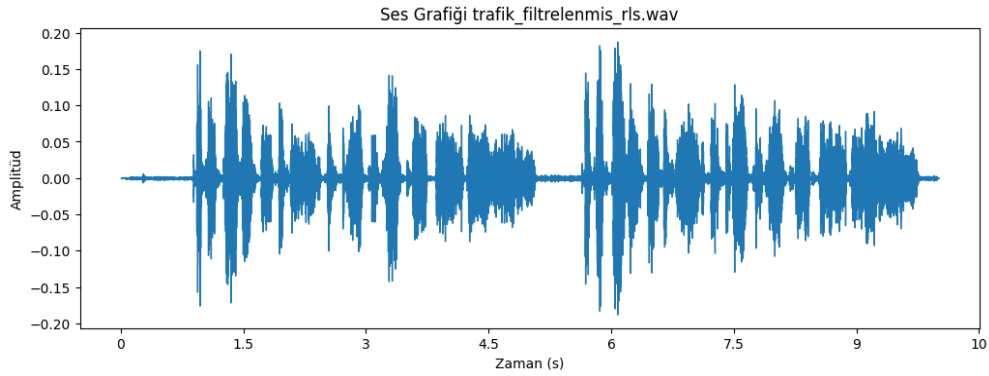
Şekil 4. 25. RLS Filtresi Uygulanmış avm.wav Ses İşaretinin Dalga Boyu Analizi

4.2.2. trafik.wav Ses İşareti

trafik.wav ses işaretlerinde RLS filtresi uygulanması sonucu oluşan ses işaretlerine ait grafikler aşağıda görülmektedir. Şekil 4. 26.'da RLS Filtresi uygulanmış trafik.wav ses işaretinin giriş-çıkış dalga formu, Şekil 4. 27.'de RLS Filtresi uygulanmış trafik.wav ses işaretinin dalga formu gösterilmiştir.

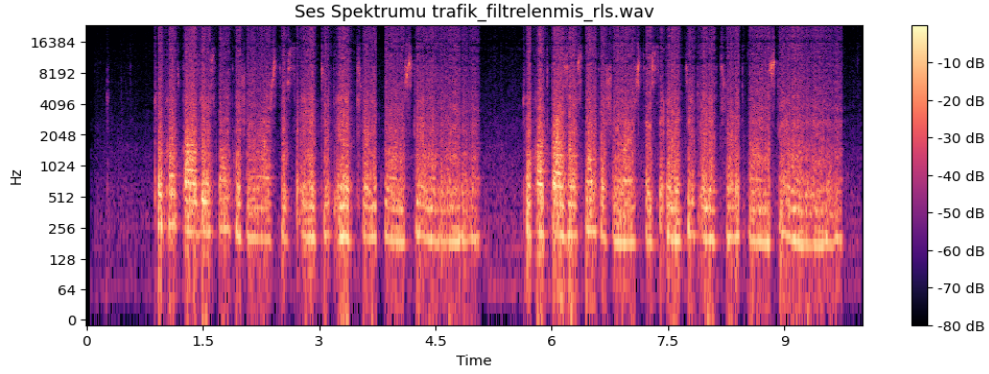


Şekil 4. 28. RLS Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Giriş-Çıkış Dalga Formu

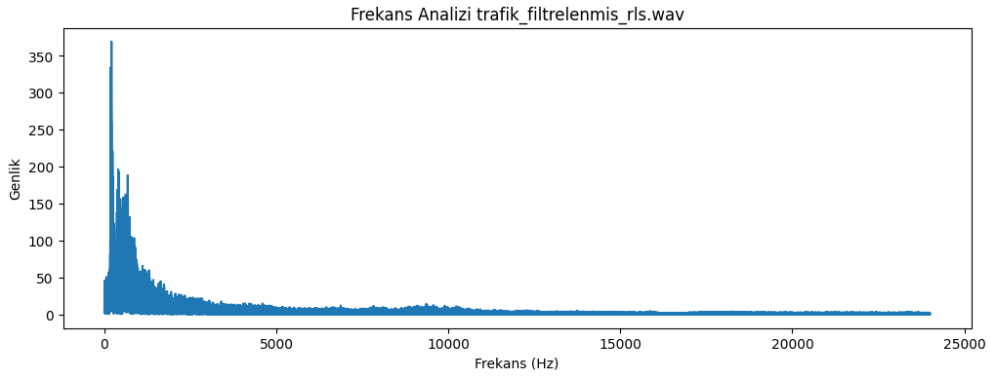


Şekil 4. 29. RLS Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Dalga Formu

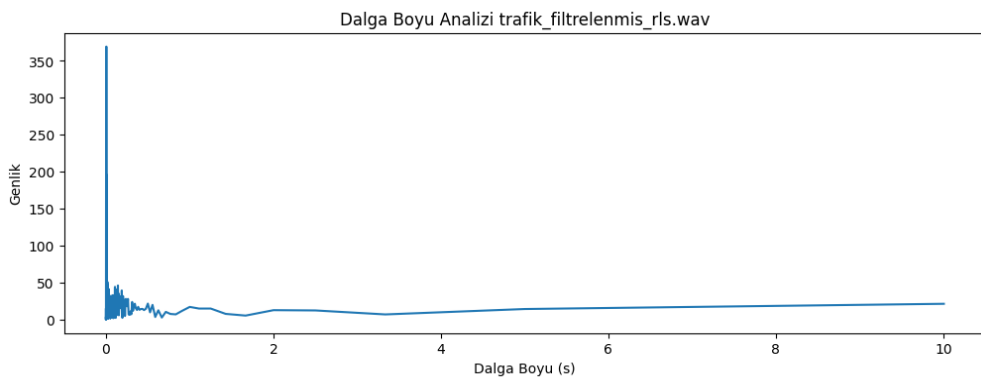
Aşağıda, Şekil 4. 30.' de RLS Filtresi uygulanmış trafik.wav ses işaretinin frekans analizi, Şekil 4. 31.' de RLS Filtresi uygulanmış trafik.wav ses işaretinin frekans analizi, Şekil 4. 32.'de RLS Filtresi uygulanmış trafik.wav ses işaretinin dalga boyu analizi görülmektedir.



Şekil 4. 33. RLS Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Frekans Analizi



Şekil 4. 34. RLS Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Frekans Analizi

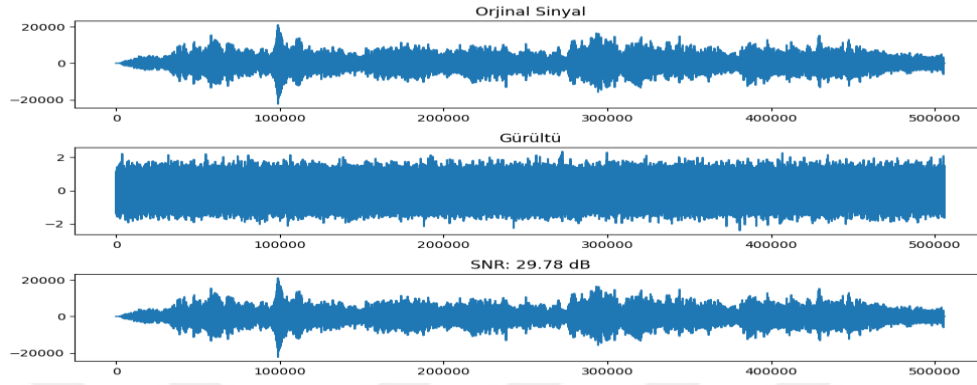


Şekil 4. 35. RLS Filtresi Uygulanmış trafik.wav Ses İşaretinin Dalga Boyu Analizi

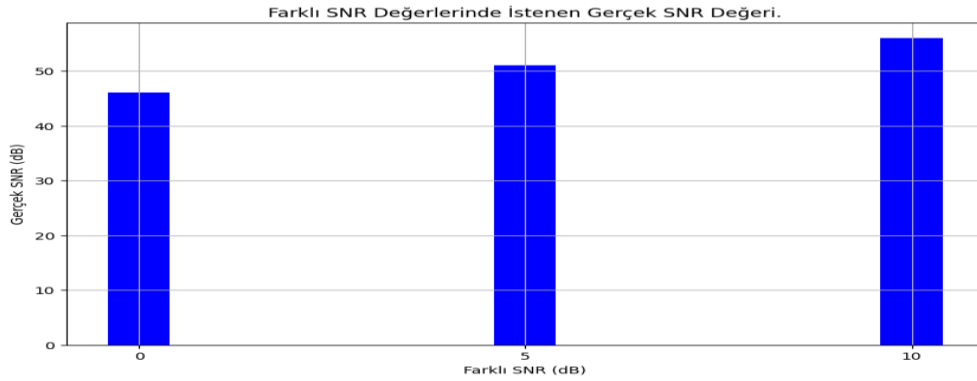
4.3. SNR (İşaret-Gürültü Oranı Analizi)

4.3.1. avm.wav Ses İşaretinin Uygulanan Filtreler Sonucu Analizi

avm.wav ses işaretinin herhangi bir filtreleme yapılmadan önceki SNR grafikleri aşağıdaki gibidir:



Şekil 4. 36. Filtreleme Yapılmamış avm.wav Ses İşareti SNR



Şekil 4. 37. Filtreleme Yapılmamış avm.wav Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri

Şekil 4.21.'e bakıldığında gürültünün homojen dağıldığı görülebilir. SNR değeri 29.78 dB olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm işaretin ne kadar gürültü ile bozulduğunu niceliksel olarak belirlemek için kullanılır.

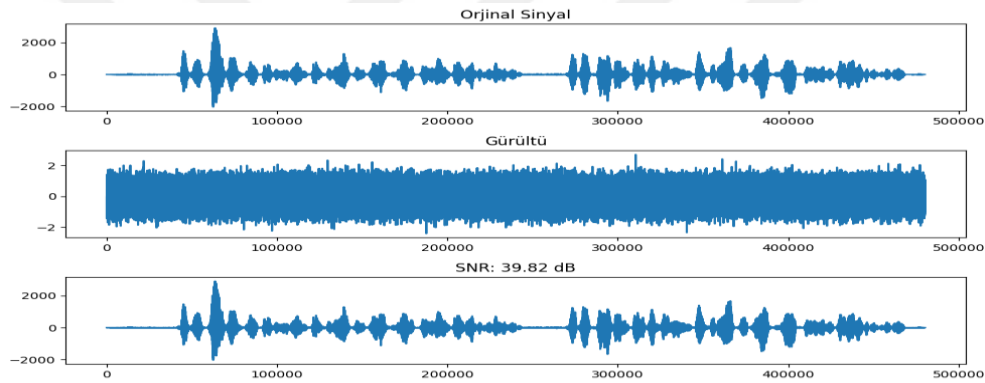
Şekil 4.22.'de ise farklı İşaret-Gürültü Oranı (SNR) seviyeleri için ölçülen gerçek SNR değerlerini göstermektedir. Grafikte, x ekseninde "Farklı SNR (dB)" olarak etiketlenmiş ve üç farklı SNR değeri (0 dB, 5 dB ve 10 dB) için barlar bulunmaktadır. Y ekseninde "Gerçek SNR (dB)" etiketi bulunmakta ve bu eksen 0'dan 60 dB'ye kadar olan değerleri kapsamaktadır.

Grafikteki barlar şu şekilde yorumlanabilir:

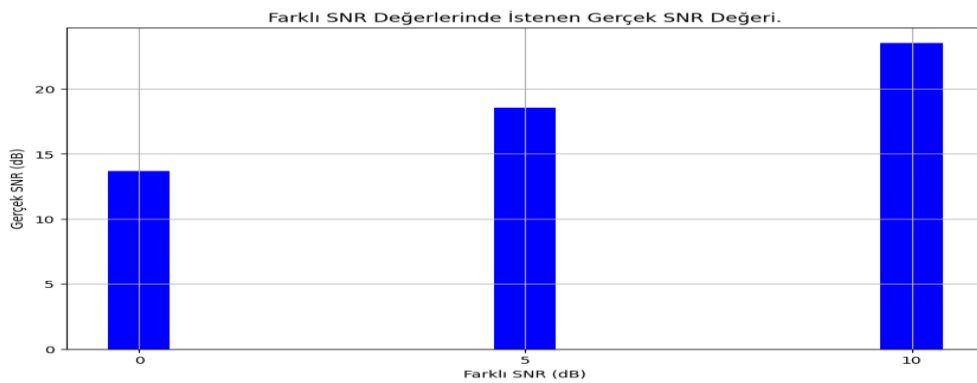
- 0 dB için gerçek SNR değeri 45 dB civarında.
- 5 dB için gerçek SNR değeri 51 dB civarında.
- 10 dB için gerçek SNR değeri yine 53 dB civarında.

Grafik bir iletişim sisteminin veya işaret işleme algoritmasının farklı gürültü seviyeleri altında ne kadar iyi performans gösterdiğini değerlendirmek için kullanılır. Gösterilen gerçek SNR değerleri, sistem veya algoritmanın gürültüyü ne kadar etkili bir şekilde bastırdığını ve böylece yüksek kaliteli bir işaret sağladığını gösterir.

Sese uygulanan Kalman Filtresi sonucunda elde edilen grafikler:



Şekil 4. 38. Kalman Filtrelenmiş avm.vaw Ses İşareti SNR



Şekil 4. 39. Kalman Filtrelenmiş avm.vaw Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri

Şekil 4.23.'te Kalman filtresi uygulanmış ses işaretinin gürültü işaretlerinde ve ses işaretlerinde SNR değerlerinin değişimi gözlemlenmektedir.

Şekil 4.24.'teki grafikte, X ekseninde "Farklı SNR (dB)" ifadesi yer almaktadır ve bu eksen 0, 5 ve 10 dB değerlerine bölünmüştür. Y ekseninde "Gerçek SNR (dB)" yazmaktadır ve bu eksen 0'dan 25 dB' ye kadar değerleri içermektedir.

Grafiğe göre:

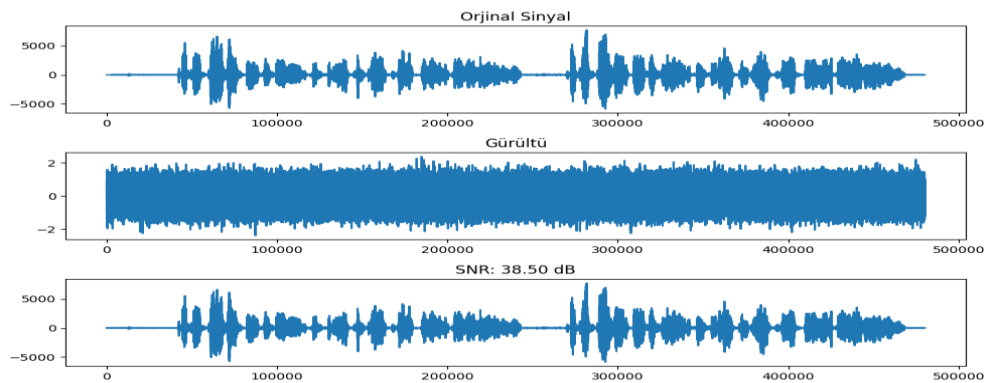
- 0 dB için gerçek SNR değeri yaklaşık 12 dB olarak görünmekte,
- 5 dB için gerçek SNR değeri yaklaşık 18 dB olarak görünmekte,
- 10 dB için gerçek SNR değeri yaklaşık 23 dB olarak görünmekte.

Görselde gösterilen yüksek gerçek SNR değerleri, sistemin veya algoritmanın yüksek gürültü seviyelerinde bile işareti koruyabildiğini ve gürültüyü etkin bir şekilde azaltabildiğini göstermektedir. Özellikle 5 ve 10 dB SNR değerlerindeki yüksek gerçek SNR, bu seviyelerde sistemin iyi bir performans sergilediğini düşündürülebilir.

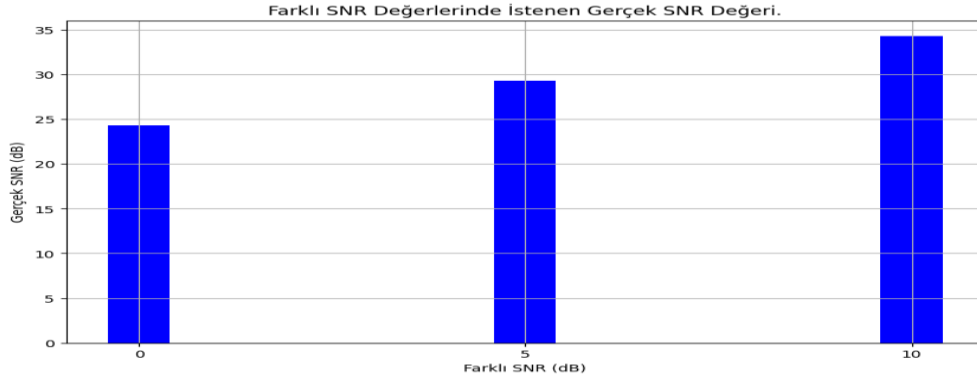
Filtrelenmemiş ses işaretine ait grafiklerle, filtreleme sonrası grafikleri karşılaştırdığımızda Kalman filtresi uygulandıktan sonra gerçek SNR değerlerinde bir artış olduğunu görülmektedir.

Gürültü gidermede belli oranlarda başarılı olan Kalman filtresinin, ses kalitesi, işitsel netlik veya diğer önemli faktörleri de başarıyla koruduğu hakkında bilgi vermez.

Sese uygulanan RLS Filtresi sonucu grafiklerse:



Şekil 4. 40. RLS Filtrelenmiş avm.vaw Ses İşareti SNR



Şekil 4. 41. RLS Filtrelenmiş avm.vaw Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri

Şekil 4.25.'te RLS filtesi uygulanmış ses işaretinin gürültü işaretlerinde ve ses işaretlerinde SNR değerlerinin değişimi gözlemlenmektedir.

Şekil 4.26.'te ise grafiğin X ekseninde "Farklı SNR (dB)" olarak etiketlenmiş ve 0, 5, 10 dB değerleri için barlar bulunmaktadır. Y ekseninde "Gerçek SNR (dB)" olarak etiketlenmiş ve değerler 0'dan 35 dB'ye kadar uzanmaktadır.

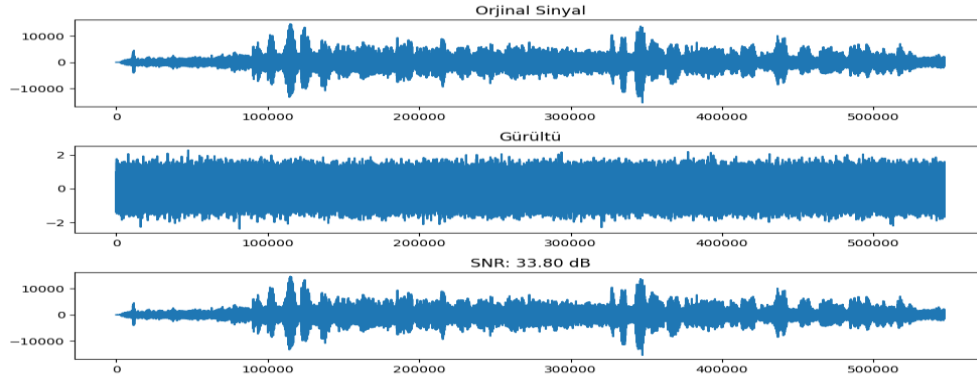
Grafiğin yorumuna bakacak olursak:

- 0 dB SNR için gerçek SNR değeri yaklaşık 25 dB,
- 5 dB SNR için gerçek SNR değeri yaklaşık 29 dB,
- 10 dB SNR için gerçek SNR değeri 34 dB civarında.

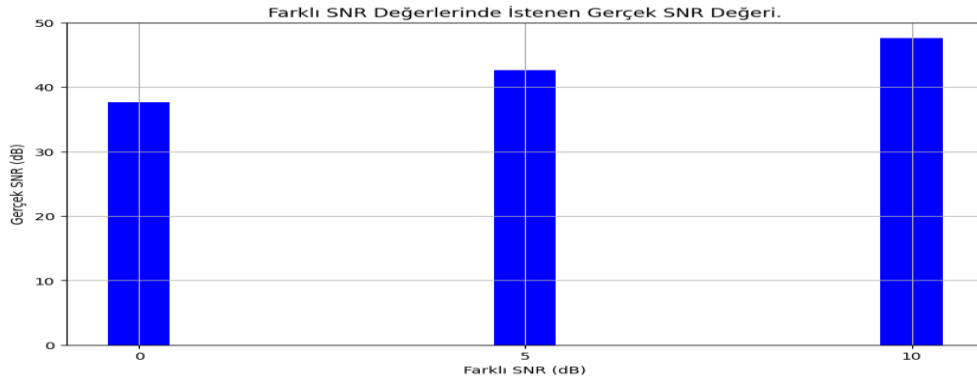
Bu grafik, belirli bir iletişim sistemi veya işaret işleme algoritmasının farklı gürültü seviyelerine karşı ne kadar etkili bir işaret koruyabildiğini değerlendirmek için kullanılabilir. Grafiğe göre, sistemin 0 dB ve 10 dB SNR seviyelerinde daha yüksek gerçek SNR değerleri elde ettiği, 5 dB SNR seviyesinde ise biraz daha düşük bir gerçek SNR değeri elde ettiği görülmektedir. Bu, sistemin farklı SNR seviyelerindeki performansının karşılaştırmalı bir analizini sağlar.

4.3.2. trafik.wav Ses İşaretinin Uygulanan Filtreler Sonucu Analizi

trafik.wav ses işaretinin herhangi bir filtreleme yapılmadan önceki SNR grafikleri aşağıdaki gibidir:



Şekil 4. 42. Filtreleme Yapılmamış trafik.vaw Ses İşareti SNR



Şekil 4. 43. Filtreleme Yapılmamış trafik.vaw Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri

Şekil 4.27.' de üstteki "Orjinal Sinyal" olarak etiketlenen grafikteki işaret trafikten gelen orijinal ses kaydını temsil etmekte ve ses dalgalarının amplitüdünde zaman içinde büyük dalgalanmalar görülmektedir. Bu dalgalanmalar, araçların geçişi, klakson sesleri gibi ani sesler veya devamlı bir arka plan gürültüsünden kaynaklıdır.

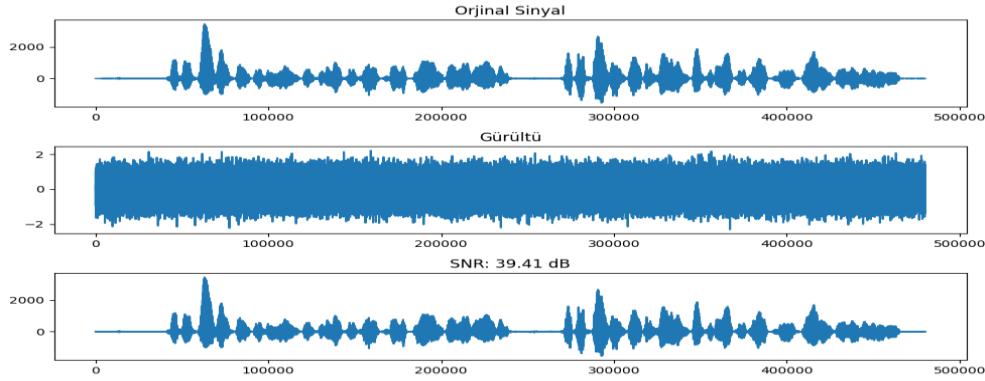
Şekil 4.28.'teki grafik, farklı İşaret-Gürültü Oranı (SNR) değerlerinde istenilen gerçek SNR değerlerini göstermektedir. Grafikte x ekseninde "Farklı SNR (dB)" ifadesi yer almakta ve bu eksen 0, 5 ve 10 dB değerlerine ayrılmıştır. Y ekseninde ise "Gerçek SNR (dB)" yazmaktadır ve bu eksenin değer aralığı 0'dan başlayıp 50 dB'ye kadar gitmektedir.

Grafiğin gösterdiği üç sütun, her bir SNR değeri için hesaplanmış gerçek SNR değerlerini temsil etmektedir. Özellikle:

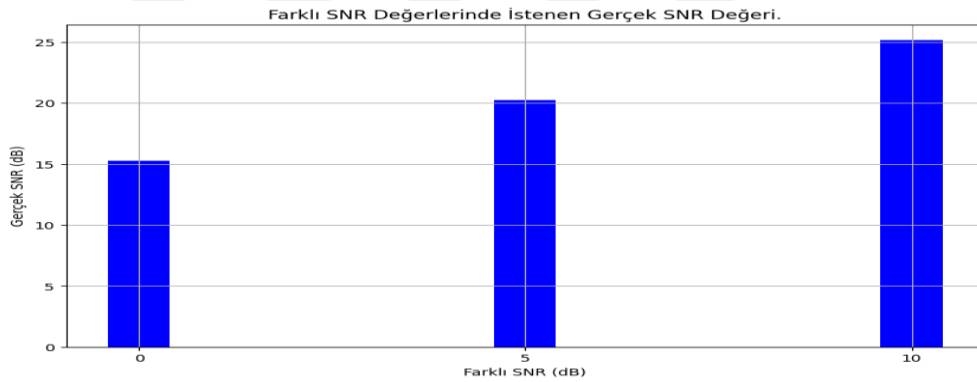
- 0 dB için gerçek SNR yaklaşık 36 dB olarak görünmekte,
- 5 dB için gerçek SNR yaklaşık 42 dB olarak görünmekte,
- 10 dB için gerçek SNR yaklaşık 47 dB olarak görünmekte.

Bu görsel, bir iletişim sisteminin farklı gürültü seviyelerinde ne kadar iyi performans gösterdiğini veya işaret işleme algoritmalarının çeşitli koşullar altında ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

Ses işaretine uygulanan Kalman Filtresi sonucunda elde edilen grafikler:



Şekil 4. 44. Kalman Filtrenilmiş trafik.vaw Ses İşareti SNR



Şekil 4. 45. Kalman Filtrenilmiş trafik.vaw Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri

Şekil 4.29.'da sesin amplitüdünün zaman içinde nasıl değiştiği görülmekte ve dalgaların yüksekliklerindeki değişimler, sesin değişkenliğini ve dinamiklerini göstermektedir. İkinci kısmında ses kaydı sırasında arka planda mevcut olan sürekli ve düzenli gürültüyü işaret eder.

SNR: 39.41 dB ibaresi bulunmakta. Bu değer, işaretin gürültüye kıyasla sahip olduğu gücün bir ölçütüdür ve bu durumda 39.41 dB oldukça yüksek bir SNR değerini işaret ediyor ki bu da işaretin oldukça berrak olduğunu gösterir. Kalman filtresi uygulandıktan sonra elde edilen bu grafik, filtrelemenin etkinliğini ve işaretin ne kadar temizlendiğini göstermektedir.

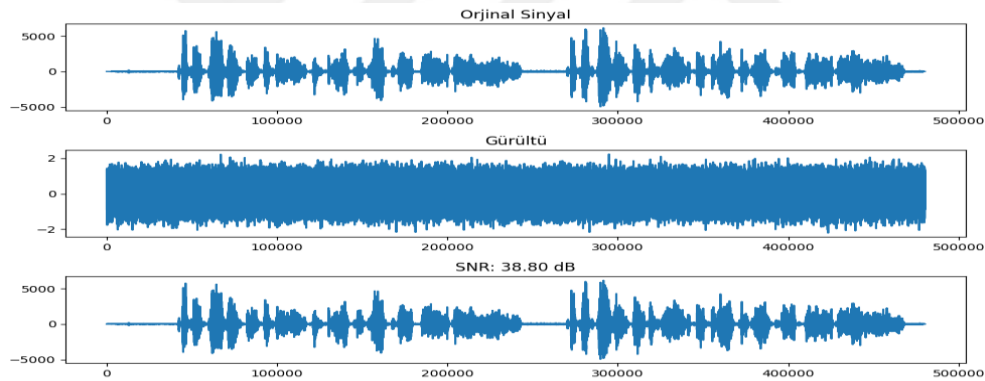
Şekil 4.30'da grafiğin x eksenini "Farklı SNR (dB)" olarak etiketlenmiş ve 0, 5 ve 10 dB değerlerine karşılık gelen barlar bulunmaktadır. Y eksenini "Gerçek SNR (dB)" olarak etiketlenmiş ve 0'dan 25 dB'ye kadar olan değerleri içermektedir.

Grafikteki barlar şu değerleri göstermektedir:

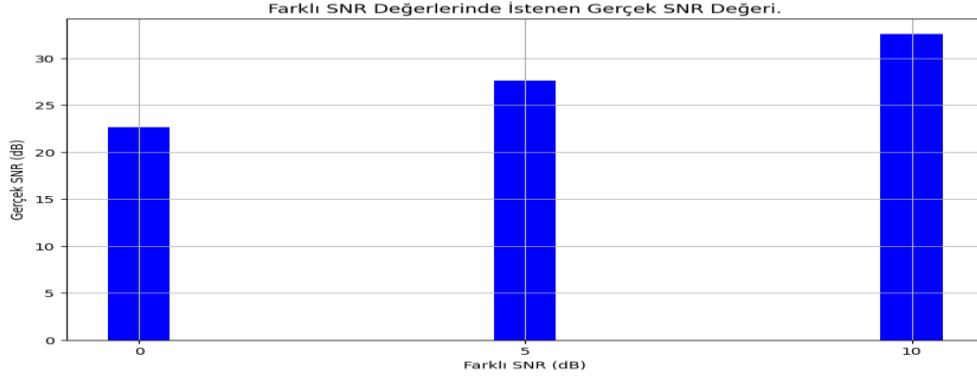
- 0 dB SNR için gerçek SNR yaklaşık 15 dB,
- 5 dB SNR için gerçek SNR yaklaşık 20 dB,
- 10 dB SNR için gerçek SNR yaklaşık 25 dB.

Bu grafik, özellikle bir iletişim sisteminin veya işaret işleme algoritmasının, farklı gürültü seviyeleri altında performansını değerlendirmemize yardımcı olur. Yüksek gerçek SNR değerleri, gürültünün etkisinin daha başarılı bir şekilde azaltıldığını ve işaretin kalitesinin daha yüksek olduğunu gösterir.

Ses işaretine uygulanan RLS Filtresi sonucu grafiklerse:



Şekil 4. 46. RLS Filtrelenmiş trafik.vaw Ses İşareti SNR



Şekil 4. 47. Filtreleme Yapılmamış trafik.vaw Ses İşaretinin Gerçek SNR Değeri

Şekil 4.31’de "SNR: 38.80 dB" etiketli grafik, RLS filtresi uygulandıktan sonra elde edilen işareti gösteriyor. 38.80 dB değeri, işaretin gürültüye oranla oldukça berrak olduğunu göstermekte ve filtreleme işleminin etkili olduğunu işaret etmektedir.

Şekil 4.32’de ise grafiğin x eksenini "Farklı SNR (dB)" olarak etiketlenmiş ve 0, 5 ve 10 dB değerleri için barlar bulunmaktadır. Y eksenini "Gerçek SNR (dB)" olarak etiketlenmiş ve değerler 0'dan başlayıp 35 dB'ye kadar uzanmaktadır.

Grafikteki barlar, her bir SNR ayarı için aşağıdaki gerçek SNR değerlerini temsil etmektedir:

- 0 dB SNR için gerçek SNR yaklaşık 23 dB,
- 5 dB SNR için gerçek SNR yaklaşık 28 dB,
- 10 dB SNR için gerçek SNR yaklaşık 32 dB.

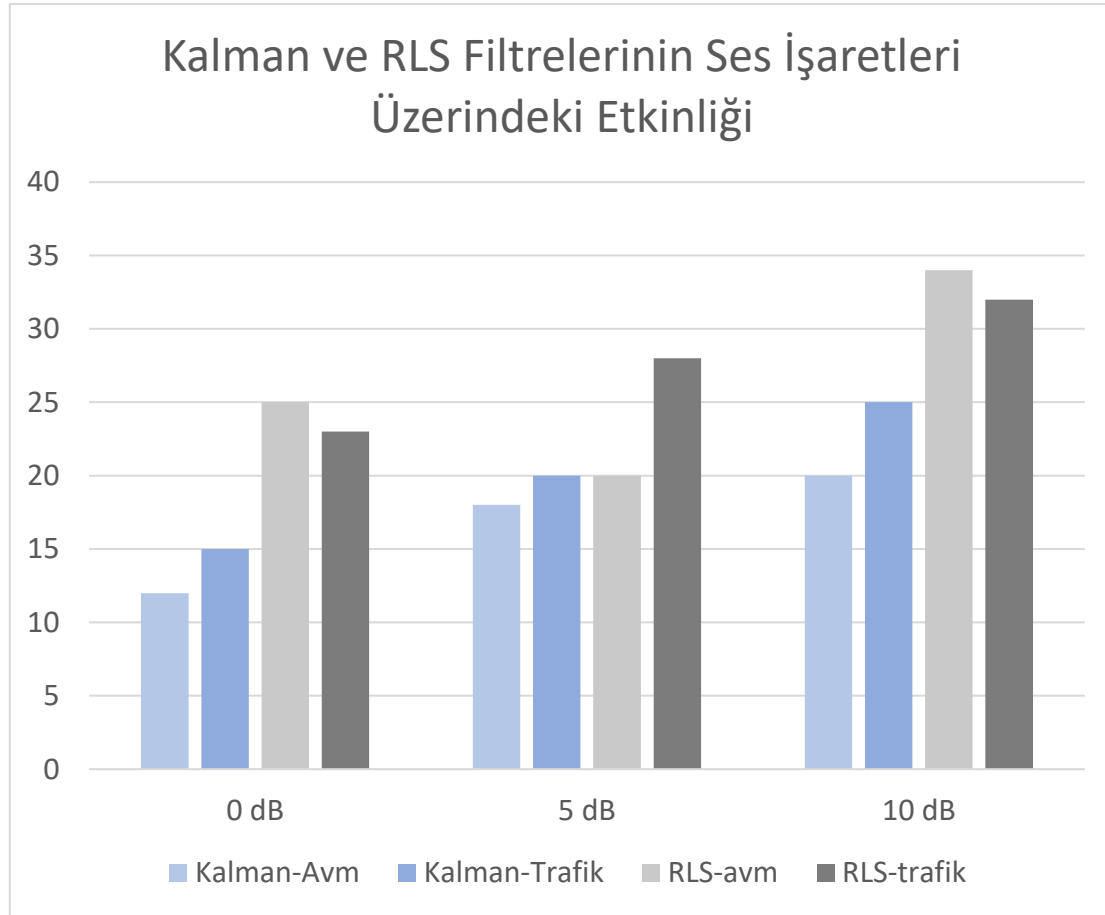
Bu grafik, bir iletişim sisteminin veya işaret işleme algoritmasının, belirli gürültü düzeylerine karşı performansını değerlendirme amacıyla bizlere yardımcı olur. Gösterilen yüksek gerçek SNR değerleri, sistem veya algoritmanın gürültüyü etkin bir şekilde azalttığını ve böylece daha yüksek işaret kalitesi sağladığını göstermektedir.

4.4. SNR Sonuçları

Filtreleme işlemi yapılmış ve filtreleme işlemi uygulanmamış ses işaretlerine ait SNR değerleri Tablo 4.1.'de görülmektedir. Tabloda farklı SNR değerlerinde, avm ve trafik gürültüsündeki işaretlerin Kalman ve RLS Filtrelenmeleri sonucu, oluşan SNR değerleri görülmektedir.

Filtre	SNR Seviyesi	avm.wav Ses İşareti	trafik.wav Ses İşareti
Filtresiz	0 dB	45 dB	36 dB
Kalman Filtreleme	0 dB	12 dB	15 dB
RLS Filtreleme	0 dB	25 dB	23 dB
Filtresiz	5 dB	51 dB	42 dB
Kalman Filtreleme	5 dB	18 dB	20 dB
RLS Filtreleme	5 dB	29 dB	28 dB
Filtresiz	10 dB	53 dB	47 dB
Kalman Filtreleme	10 dB	23 dB	25 dB
RLS Filtreleme	10 dB	34 dB	32 dB

Tablo 4. 1. Kalman ve RLS Filtrelerinin Ses İşaretleri Üzerindeki Etkinliği



Tablo 4. 2. Kalman ve RLS Filtrelerinin Ses İşaretleri Üzerindeki Etkinliği Diyagramı

Tablo 4.2.'de Kalman ve RLS filtrelerinin iki farklı ses işareti üzerindeki etkileriyle ilgili bulgular bulunmaktadır. Bu bulgular, filtrelerin işaret-gürültü oranı (SNR) üzerindeki etkisini gösteren grafikler ve analizler içermektedir. İki farklı gürültü ortamı (trafik ve alışveriş merkezi gürültüsü) içeren ses kayıtlarında Kalman ve RLS (Recursive Least Squares) filtrelerinin etkinliği 0 dB, 5 dB ve 10 dB SNR seviyelerinde değerlendirilmiştir. İki ses işareti ("avm.wav" ve "trafik.wav") üzerinde yapılan bu analizler, her iki filtrenin bu ses işaretlerinin gürültüsünü azaltmada ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma, konuşma işaretlerindeki gürültülerin adaptif filtrelerle azaltılmasını incelemek üzere adaptif filtrelerin ele alınması, gürültü gideriminde yaklaşımların uygulanması ve sonuçlandırılmasını amaçlamaktadır. Adaptif filtreler, işaretler, gürültüler, konuşma işaretleri ele alınmış ve konuşma işaretlerinin gürültü azaltılması çeşitli yönleriyle ele alınmıştır. İki farklı ses kaydı olan, trafik gürültüsünde konuşma sesi ile avm gürültüsünde kayda alınmış konuşma seslerinde adaptif filtrelerle gürültü azaltımı gerçekleştirmek üzere Kalman ve RLS filtreleri kullanılmıştır. Her iki filtrenin SNR seviyelerinin 0 dB, 5 dB ve 10 dB olduğu durumlarda performansları hem gürültü azaltma açısından hem de işaret bütünlüğünün korunması açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, ses işaretlerinin doğruluğunu ve kalitesini korurken arka plan gürültüsünü ne derece azaltabildiklerini anlamamıza olanak tanımıştır.

Uygulama sonucunda iki farklı filtrede ve iki farklı ses işaretinde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, SNR değerinin düşük olduğu 0 dB seviyesinde, her iki filtrenin de sınırlı bir performans sergilediğini ortaya koymuştur. Kalman filtresi, alışveriş merkezi ortamında oldukça düşük performans gösterirken, trafik ortamında biraz daha yüksek etkinlik sergilemiştir. Buna karşın, RLS filtresi, alışveriş merkezi ortamında Kalman filtresine göre daha iyi sonuçlar vermiş, trafik gürültüsünde ise her iki filtrenin performansı benzerlik göstermiştir. SNR değerinin 5 dB'e yükseltilmesiyle, her iki filtrenin de performansında iyileşmeler gözlemlenmiştir. Kalman filtresi, özellikle trafik ortamında daha belirgin bir performans artışı sergilerken, RLS filtresi hem alışveriş merkezi hem de trafik ortamında daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

SNR değerinin daha da artırıldığı 10 dB seviyesinde, her iki filtrenin de performansında önemli bir artış gözlemlenmiştir. Kalman filtresi, trafik ortamında oldukça yüksek bir etkinlik göstermiş, RLS filtresi ise her iki ortamda da en iyi performansını sergilemiştir. Çalışmanın genelinde, SNR değerinin artışıyla birlikte hem Kalman hem de RLS filtrelerinin etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. Trafik gürültüsü ortamında Kalman filtresinin performansı genellikle alışveriş merkezi ortamından daha yüksek olmuştur. Ancak, düşük SNR değerlerinde RLS filtresi, özellikle alışveriş merkezi ortamında Kalman filtreden daha başarılı olmuştur. Yüksek SNR değerlerinde her iki filtrenin performansı arasındaki fark azalmıştır. Her iki filtrenin de ses işaretlerini koruma ve gürültüyü azaltma konusunda kendi avantajları bulunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın gösterdiği gibi, Kalman ve RLS filtrelerinin etkinliği, ses ortamının niteliklerine ve işaret türlerine göre değişebilmektedir. Bu nedenle, bu filtrelerin parametrelerinin farklı ses ortamları ve işaret türleri için özelleştirilmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda, her iki filtrenin parametrelerinin, özellikle gürültü seviyesi ve frekans bileşenleri açısından farklılık gösteren ses ortamlarına göre ayarlanması, işaret kalitesinin maksimize edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Ek olarak, farklı ses ortamları ve işaret türleri üzerinde yapılan ek testler, filtrelerin etkinliklerini ve uygulanabilirliklerini daha da artırabilir. Özellikle gerçek dünya senaryolarını yansıtan karmaşık ve değişken ses ortamlarında bu testlerin yapılması, filtrelerin gerçek zamanlı uygulamalar için daha uygun hale getirilmesini sağlayabilir. Ses işleme alanındaki hızlı teknolojik gelişmeler, yeni filtreleme tekniklerinin keşfedilmesi ve mevcut filtrelerin daha karmaşık işaretler üzerinde test edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Günümüzde, çeşitli ortamlardan elde edilen ses işaretleri, arka plan gürültüsü, yankı ve diğer bozulmalar açısından oldukça karmaşık yapılar sergilemektedir. Bu bağlamda, mevcut Kalman ve RLS filtrelerinin bu tür karmaşık işaretler üzerinde test edilmesi, filtreleme tekniklerinin etkinliğini ve uygulanabilirliğini artıracaktır. Ayrıca, ses işleme algoritmalarının gelişimi için bu filtrelerin çeşitlendirilmiş uygulamaları, özellikle gelişmiş ses tanıma sistemleri, akustik izleme uygulamaları ve gürültü kontrol sistemleri gibi alanlarda büyük önem taşımaktadır. Bu tür uygulamalar, filtrelerin gerçek dünya koşullarında nasıl performans gösterdiğini anlamamızı sağlayarak, ses işleme teknolojilerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

6. KAYNAKÇA

- Ağaoğlu, E. A., 2008. Sayısal Filtre Tasarımı Ve Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Al Dawi, A. O., 2018. Fm Transmitter Using Hackrf One, PhD Thesis, Karabuk University.
- Almallahmed, O. M., 2015. Noise cancellation using adaptive filter algorithms. Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankaya Üniversitesi, Ankara.
- Al-Shoshan, A., 2006. Speech and Music Classification and Separation: A Review. Eng. Sci. 19.
- Andersen, K. T. ve Moonen, M., 2018. Robust Speech-Distortion Weighted Interframe Wiener Filters for Single-Channel Noise Reduction. In IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 26, no. 1, pp. 97-107.
- Anonim, 2023. Sound. USA. <https://www.nde-ed.org/Physics/Sound/reflection.xhtml>; (06.09.2023).
- Arif, A. Mohammed, Yashwanth, G., Mukesh, B., Reddy, M. Brahma, Saw, Pranav. 2020. Reduction of Noise in Speech Signal Processing and Reconstruction of Signal International Journal of Electrical Engineering and Technology, 11(3), pp. 364-371
- Badin, P., Serrurier, A., 2006. Three-dimensional modeling of speech organs: Articulatory data and models. Technical Committee of Psychological and Physiological Acoustics, 36, Japan.
- Bao, X., Xu, Y., Lam, H., Trabelsi, M., Chihi, I., Sidhom, L., Kamavuako, E., N., 2023. Time-Frequency distributions of heart sound signals: A Comparative study using convolutional neural networks. Biomedical Engineering Advances, Volume 5.
- Behrouz, F. B., 2013. Adaptive Filters: Theory and Applications. Wiley, 761 s, USA.
- Bellanger, M.G., 2001. Adaptive Digital Filters. Marcel Dekker, 464 s, USA.
- Boukis, C., Mandic, D., P. and Constantinides, A. and Polymenakos, L., 2010. A modified Armijo rule for the online selection of learning rate of the LMS algorithm. Digital Signal Processing, 20. 630–639.

- Brown, C., Riede T., 2016. Comparative Bioacoustics: An Overview. Bentham Science Publishers, 619 s, Sharjah.
- Çolak, R., 2019. Çok Kanallı Ortamlarda Gürültü Azaltma. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Programı, Tekirdağ.
- Çolak, R., and Akdeniz, R., 2021. A Novel Voice Activity Detection for Multi-Channel Noise Reduction. In IEEE Access, vol.9, pp. 91017-91026.
- Dietzen, T., Doclo, S., Moonen, M. and Waterschoot, T. van, 2020. Integrated Sidelobe Cancellation and Linear Prediction Kalman Filter for Joint Multi-Microphone Speech Dereverberation, Interfering Speech Cancellation, and Noise Reduction. In IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 28, pp. 740-754.
- Eni, M., Mordoh, V., and Zigel, Y., 2022. Cough detection using a non-contact microphone: A nocturnal cough study. Plos One, 19,17.
- Grover, J., and Natarajan, V., 2015. Estimation and Tracking of Knee Angle Trajectory using Inertial Sensors and a Smartphone Application. EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology, Sydney.
- Huckvale, M., Hilkhuisen, G. and Frasi, D., 2012. Performance-Based Measurement of Speech Quality with an Audio Proof-Reading Task. AES: Journal of the Audio Engineering Society. 60.
- Hang, F., Chen, J., and Lou, S., 2003. Modern Digital Signal Processing[M], BeiJing:Electronic Industry Press, pp. 119-126.
- Haykin S., 1991. Adaptive Filter Theory. Prentice-Hall, Inc., 978 s, USA.
- Haykin,S., 2001. Adaptive Filter Theory, NJ:Prentice Hall. 854 s, USA.
- Haykin, S., Sayed, A. H., Zeidler, J. R., Yee, P., Wei, P. C., 1997. Adaptive tracking of linear timevariant systems by extended RLS algorithms. Signal Processing, IEEE Transactions on, Volume: 45 5, Pages: 1118 -1128.

- Hegger, R., Kantz, H. and Matassini., L. 2001. Noise reduction for human speech signals by local projections in embedding spaces. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 48, no. 12, pp. 1454-1461.
- Hildebrand, C., Efthymiou, F., Busquet, F., Hampton, W., Hoffman, D. and Novak, T., 2020. Voice analytics in business research: Conceptual foundations, acoustic feature extraction, and applications. *Journal of Business Research*, 121, 364-374.
- Howard, R. M., 2015. White noise: A time domain basis. *International Conference on Noise and Fluctuations (ICNF)*, Xi'an, China, pp. 1-4.
- Jain, D., Beniwal, P., 2022. Review Paper on Noise Cancellation using Adaptive Filters. *International Journal Of Engineering Research & Technology (Ijert)* Volume 11, Issue 01.
- Kapoor, J., Mishra G., and Rai., M., 2017. Characteristics and properties of audio signal and noise cancellation techniques: A theoretical review. *International Conference on Emerging Trends in Computing and Communication Technologies*, India.
- Kaunitz, J., 1972. Adaptive Filtering of Broadband Signals as Applied to Noise Cancelling. Ph.D., Stanford Electronics Laboratories Rep. Stanford University, Stanford, California.
- Koning, R., Bruce, I. C., Denys, S. and Wouters, J., 2018. Perceptual and Model-Based Evaluation of Ideal Time-Frequency Noise Reduction in Hearing-Impaired Listeners. In *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 26, no. 3, pp. 687-697.
- Lee, K. A., Gan, W. S., and Kuo, S. M., 2009. Subband Adaptive Filtering: Theory and Implementation. Wiley, 344 s, GB.
- Loan, V., Charles., 1992. Computational Frameworks for the Fast Fourier Transform. Siam, 269 s, USA.
- Marquardt, D. and Doclo, S., 2018. Interaural Coherence Preservation for Binaural Noise Reduction Using Partial Noise Estimation and Spectral Postfiltering. In *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 26, no. 7, pp. 1261-1274.
- Meral, O., 2008. Doğrusal Öngörülü Kodlama Ve Adaptif Algoritma Tabanlı Konuşmacı Tanıma. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- Niranjayan, S. and Beaulieu, N. C., 2010. Analysis of Wireless Communication Systems in the Presence of Non-Gaussian Impulsive Noise and Gaussian Noise. 2010 IEEE Wireless Communication and Networking Conference, Sydney, NSW, Australia, pp. 1-6.
- Otsuru, T., Tomiku, R., Okamoto, N., Ueda, E. and Nakamura, A., 2016. Uncertainty examination of ensemble averaging method for sound absorption of materials in a reverberation room. *Acoustical Science and Technology*. 37.
- Öztürk, Ö., 2005. Modeling phoneme durations and fundamental frequency contours in Turkish speech. Ph.D.- Doctoral Program. Middle East Technical University, Ankara.
- Poluboina, V., Pulikala, A. and Muthu A. N. P., 2023. An Improved Noise Reduction Technique for Enhancing the Intelligibility of Sinewave Vocoder Speech: Implication in Cochlear Implants. In *IEEE Access*, vol. 11, pp. 787-796.
- Proakis, G.J., Manolakis, D.G., 2007. Design of Digital filters: Digital Signal Processing Principles Algorithms and Applications, Pearson Prentice Hall., 655 s., New Jersey, USA.
- Raphael, L., J., Borden, G., J. and Harris, K., S., 2007. Speech Science Primer: Physiology, Acoustics, and Perception of Speech, LWW, 416 s, USA.
- Refrégier, P., 2004. Noise Theory and Application to Physics. Springer, 304 s, France.
- Reyes, A., Alves, J., Durham, A., and Gruber, A., 2017. Use of profile hidden Markov models in viral discovery: current insights. *Advances in Genomics and Genetics*, 7, 29.
- Reynolds D. A., et al., 2003. The Super SID Project: Exploiting High-Level Information for High-Accuracy Speaker Recognition. In *Proc. ICASS*, p. 784–787.
- Reynolds, D. A., 1992. A Gaussian Mixture Modeling Approach to Text Independent Speaker Identification. Ph.D. thesis, Georgia Inst. of Technology. Georgia.
- Sambur, M., 1978. Adaptive noise canceling for speech signals. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 26, no. 5, pp. 419-423.
- Sanubari, J., 2006. Analysis of steady-state excess mean-square-error of the least mean kurtosis adaptive algorithm, *EUSIPCO*, Italy.
- Sejdić, E., Djurović, I., Jiang, J. 2009. Time-frequency feature representation using energy concentration: An overview of recent advances, *Digital Signal Processing*, 19. 153-183.

- Sethi, D., Bansal, M., Saini, A., and Verma, N., 2017. Reduction of Noise from Speech Signal using Wavelet Thresholding. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, Volume 3, No. 4.
- Smith, S., W., 2003. *Digital Signal Processing*. California Technical Publishing, 643 s, USA.
- Stergiopoulos, S., 2001. *Advanced Signal Processing Handbook : Theory and implementation for radar, sonar, and medical imaging real-time systems*. CRC Press, 750 s, USA.
- Stoicave P., Moses, R., 2005. *Spectral Analysis of Signals*. Pearson Prentice Hall, 420 s, New Jersey.
- Tan, L., Jiang, J., 2019. *Digital Signal Processing: Fundamentals and Applications*. Elsevier, 791 s, USA.
- Turk, O., Şayli, O., Ozsoy, S., Arslan, L., 2004. Türkçe'de Ünlülerin Formant Analizi. *Ulusal Dilbilim Kurultayı*, Ankara.
- Vageshi, S., 2006. *Advanced digital signal processing and noise reduction*. Wiley ve Sons, 453 p, UK.
- Vuerinckx, R., Rolain, Y., Schoukens, J. and Pintelon, R., 1996. Design of stable IIR filters in the complex domain by automatic delay selection. *Signal Processing, IEEE Transactions*, vol. 44, no. 9, pp. 2339-2344.
- Vijay, K. M., and Douglas, B. W., 1998. *Subband Adaptive Filtering: Theory and Implementation*. CRC Press, 317 p., USA.
- Yu, Z., Zhu, L., Dai, B., Liu, L. and Zhang, J., 2022. Noise Reduction Based on Adaptive Prediction Fitting Algorithm for a Heterodyne Φ -OTDR System. In *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 34, no. 23, pp. 1311-1314.
- Wang, Y., Yang, J., Zhang, Q., Zeng, J., Mu, B., Du, J., Li, Z., Shao, Y., Wang, J., Li Z., 2023. Application of Combined Filtering in Thunder Recognition. *Remote Sens.* 15, 432.
- Welch, G., Bishop, G., 1995. *An Introduction to the Kalman Filter*, Department of Computer Science. University of North Carolina at Chapel Hill.

Xue, W., Moore, A., H., Brookes, M. and Naylor, P., A., 2021. Speech Enhancement Based on Modulation-Domain Parametric Multichannel Kalman Filtering. In IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 29, pp. 393-405.

