



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

FAZLI MİKROFON DİZİLERİ KULLANARAK ELDE EDİLEN SES
SİNYALLERİNİN İŞLENMESİ

İLKER İBRAHİM AVŞAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY

EYLÜL 2010

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FAZLI MİKROFON DİZİLERİ KULLANARAK ELDE EDİLEN SES
SİNYALLERİNİN İŞLENMESİ

İLKER İBRAHİM AVŞAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Yrd.Doç.Dr. Emin ÜNAL danışmanlığında hazırlanan bu tez 16 / 09 / 2010 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Emin ÜNAL
Jüri Başkanı

Y.Doç. Dr. Ersin ÖZDEMİR
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ
Jüri Üyesi

Bu tez enstitümüz Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof.Dr.Necat AĞCA
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ÖNSÖZ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	28
3.1.Mikrofon	28
3.1.1.Kristal Mikrofonlar	30
3.1.2. Piezoelektrik Seramik Mikrofonlar.....	30
3.1.3. RF Elektrostatik Mikrofon.....	30
3.1.4. Kondansatör Mikrofonlar.....	31
3.1.5. Dinamik (Manyetik, Hareketli) mikrofonlar.....	31
3.1.6.Kapasitif Mikrofonlar.....	32
3.1.7.Karbon tozlu Mikrofonlar	32
3.1.8. Elektret Mikrofonlar.....	33
3.1.9. Şeritli Mikrofonlar	34
3.2.Mikrofon Dizisi.....	35
3.3.Algoritma	42
3.3.1. Geciktir ve Topla Algoritması	42
3.3.2. MUSIC Algoritması.....	45
3.3.3. Root-MUSIC Algoritması.....	47
3.3.4. ESPRIT Algoritması	48
3.4. Ses Kaynağının ve Mikrofonlar Arası Gecikmenin Hesaplanması	48

3.5.Sinyal Gürültü Oranı	50
3.6. Alt Uzay Tekniği.....	50
3.7. Lineer FMD.....	51
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	52
4.1.Kayıt Formatı	52
4.2.Örnekleme Frekansı	52
4.3.Genlik, Periyot, Frekans.....	52
4.4. Ses Hızı	53
4.5. MIT Mikrofon Dizisi	53
4.5. İki Elemanlı Mikrofon Dizisi	61
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	66
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	73

ÖZET

Mikrofon dizisi uygulamaları son yıllarda ses işlemede ilgi çeken bir konudur. Uygulamalar konferans benzeri ortamlarda ses kalitesinin yükseltilmesi, tren gibi hareketli araçların konumlarının belirlenmesi, kısmi duyma problemi çeken kişilerin bu sorunlarının giderilmesi, robotların ses ile kontrol edilmesine kadar çeşitlilik gösterir.

Mikrofon dizileri bir ses kaynağına ulaşabilen birden fazla mikrofon ile oluşturulmuş yapılardır. Mikrofon dizileri gürültülü ortamlarda sesin iyileştirilmesi amacı ile kullanılabilir. Mikrofonların ses kaynağına ve birbirlerine olan uzaklıkları göz önüne alınarak ses sinyalleri üzerinde uygulanacak sinyal geciktirme ve sinyallerin toplanması işlemleri ile sese odaklanma ve sesteki gürültüyü azaltma işlemlerini gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Mikrofon dizilerinde ses kaynağının yeri bilinmiyor ise gelen en güçlü ses sinyalinin sesin kaynağı olduğu varsayımı kabul görmektedir. Buna rağmen en güçlü sese odaklanmak yerine diğer ses sinyallerinden herhangi birine odaklanıp zayıf olan sinyalleri güçlendirmek de uygulanabilir bir konudur.

Ses işleme uygulamalarında en fazla karşılaşılan problem sesin mikrofona ulaşmadan önce ortamdaki gürültüden dolayı kirlenmesi ve ses sinyalinin zayıflamasıdır. Bu problem ses kaynağının mikrofona yakın olduğu veya gürültünün az olduğu ortamlarda az bir sorun teşkil etmesine karşın ses kaynağı ile mikrofon mesafesinin uzadığı ve gürültülü ortamlar için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Örneğin bir hava alanında yaklaşan uçakların konumunu mikrofon dizileri ile saptamak istiyorsak hava alanlarının yapılarından dolayı gereksiz çevresel sesler ile karşılaşabilmenin yanında mikrofonlarında uçaklar ile uzak mesafede bulunması kaçınılmaz bir durumdur.

Bu çalışmada, farklı mikrofonlardan alınan ses sinyalleri mikrofonların konumuna göre gecikmeler uygulanarak üst üste toplanarak demetleme yapılmıştır.

2010, 73 sayfa.

Anahtar Kelimeler: Mikrofon dizileri, geciktir ve topla, demetleme, music.

ABSTRACT

Microphone array applications have been a hot topic and widely used in sound processing recently. These applications include areas such as increasing the sound quality in conferences and similar settings, locating the places of trains and such moving vehicles, solving the problems of people who suffer partial hearing loss and controlling robots with sound commands.

Microphone arrays are structures that are constructed with multi-microphones reaching the source of the sound. Microphone arrays could also be used to increase sound quality in noisy places. It is possible to delay the signals of sound, to collect the signals and to focus on the sound as well as to decrease the noise in the sound signals with regard to the distance between the microphone and the source of the sound and the distance among the microphones. In microphone arrays, when the location of the sound source is unknown, the strongest sound signal is taken as the source of the sound. However, it is also possible to improve the weak sound signals in the group of signals apart from focusing on the strongest sound signal.

The most common problem in sound processing is the fact the sound is distorted with the noise in the environment before it reaches the target microphone. Although this problem is observed less in the environments where the source of the sound is closer to the microphone, this is not the case for the environments where the distance between the source and microphone is longer and where there is more noise. For instance, if one wants to locate an aircraft at a noisy airport it is unavoidable to have the environmental noise coming to the microphone and the longer distance between the aircraft and the microphone.

In the current study, sound signals from different microphones with application of sound delay according to the distance of the microphone are collected and evaluated.

2010, 73 pages.

Keywords : Microphone array, delay and sum, beamforming, music, rootmusic.

ÖNSÖZ

Mikrofon dizileri iki ve daha fazla mikrofondan oluşmuş yapılardır. Mikrofon dizilerinde mikrofon sayısı artıka sinyal gürültü oranı daha makul seviyelerde olur. Mikrofon dizileri kullanılarak tek bir mikrofondan gelen sestten daha kuvvetli bir ses elde etmek mümkün olduğu gibi diziler sayesinde birden fazla ses kaynağından istenilen sese yönelerek diğer sesleri yok etmekte mümkündür.

Mikrofon dizileri pek çok alanda kendisine uygulama alanı bulur. Bunlara tren, uçak, otomobil gibi taşıma araçlarının bir noktaya yaklaşma ya da bir noktadan geçiş anlarının bulunmasının yanında televizyon programlarında ya da birden fazla konuşmacının bulunduğu otumlarda bir ses kaynağına odaklanmak, insan vücudundan gelen sesleri dinleyerek teşhis koymak örnek olarak verilebilir.

Mikrofon dizilerinde bir sese yönelebilmek için ses kaynağının bilinmesi gerekir. Pratik uygulamalarda ses kaynağının sabit olmayıp değışken olabilirliliğinin yüksek olmasından dolayı da ses kaynağının uygulama anında bulunması gerekir. Ses kaynağından gelen sinyalin daha iyi alınabilmesi için mikrofon dizilerinin kullanılması gerekir. Bu sayede tek bir mikrofondan alınan sesin aksine mikrofon dizisi ile elde edilen sinyalde her mikrofondan gelen sinyalleri toplayarak daha güçlü bir sinyal elde etmek mümkündür.

Mikrofon dizileri kullanılarak elde edilen sinyaller ses kaynağının mikrofonu ve mikrofonların birbirine olan mesafesi göz önüne alınarak ve uygun gecikme oranları kullanılarak güçlendirilmiştir. Sesin ortamda ilerlerken her mikrofonu farklı zamanda ulaşmasından dolayı bu gecikme uygulaması zorunludur. Gecikme miktarının hesaplanması için de ses kaynağının mikrofonlara göre konumunun bilinmesi gerekir. Eğer ses kaynağının konumu sabit değıl değışken ise ses kaynağı konumunun eş zamanlı bulunması gerekir.

Bu çalışmada, ses kaynağından gelen sinyaller farklı sayıda mikrofon dizileri ile alınacak ve karşılaştırılacaktır.

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, değerli fikir ve katkıları ile bu çalışmaya ışık tutan ve yönlendiren danışman hocam, Doç.Dr. Emin ÜNAL'A, çalışmalarım sırasında yine desteğini esirgemeyen Yrd.Doç.Dr. Ali UZER'e, Öğr.Gör. Muharrem KARAASLAN'a,

Öğr.Gör.İbrahim ÜSTÜN'e, Okutman Emrah CİNKARA'ya, her konuda yardımlarını esirgemeyen ve bana her zaman destek olan aileme çok teşekkür ederim.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

FMD	Faz mikrofon dizisi
MUSIC	Çoklu sinyal sınıflandırma (Multiple signal classification)
SGO	Sinyal gürültü oranı
GZFPÖ	Geliş zamanları farkının pasif ölçülmesi
GA	Geliş açısı
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National aeronautics and space administration)
FKG	Fonokardiyografi
m	Metre
cm	Santimetre
Hz	Hertz
Khz	Kilo Hertz
Db	Desibel
NTP	Ağ zaman protokolü (Network time protocol)
GPS	Küresel konumlanma sistemi (Global positioning system)
SGO	Sinyal gürültü oranı
Ω	Ohm
HFD	Hızlı Fourier Dönüşümü

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. 1024 elemanlı FMD X, Y, Z kordinatları.....	53
Çizelge 4.2. 1-5 numaralı mikrofonların koordinatları.....	54
Çizelge 4.3. 61,62,63,88,89,90,91,118,119,120 numaralı mikrofonların koordinatları..	58
Çizelge 5.1.Örnekleme Frekansına göre oluşan veri tablosu.....	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Sesin kaynaktan yayılması ve mikrofon dizisi.....	1
Şekil 1.2. Mikrofon dizisine gelen istene sinyal ve istenmeyen gürültü.....	2
Şekil 2.1. Geliş açısının açık havada GZFPÖ yöntemi ile kestirilmesinde kullanılan sistem modeli.....	4
Şekil 2.2. Çapraz ilintileme GZFPÖ yöntemiyle GA kestiriminin başarımının çeşitleme kullanıldığı durumdaki amaç sistem modeli.....	4
Şekil 2.3. Geciktir ve topla algoritması blok şeması.....	5
Şekil 2.4. 32 kanallı dairesel FMD yerleşimi.....	5
Şekil 2.5. Mikrofon dizisinde 1, 2, 3 ve 4. ses kaynağının mikrofonlar etrafındaki yerleşim düzeni.....	6
Şekil 2.6. Yeni dairesel FMD elemanlarının yerleşimi.....	7
Şekil 2.7. Üç boyutlu FMD eleman yerleşimi.....	7
Şekil 2.8. Intel laboratuvarlarında geliştirilen ses yakalama sistemi şeması.....	8
Şekil 2.9. Sayısal ev ve bürolar için geliştirilen FMD örnek dizi ve hedef-kaynak yapılandırması.....	8
Şekil 2.10. FMD dört değer indeksi.....	9
Şekil 2.11. 32 elemanlı FMD mikrofon yayılma indeksi.....	10
Şekil 2.12. 128 elemanlı FMD mikrofon yayılma indeksi.....	10
Şekil 2.13. 32 elemanlı FMD frekans değerleri.....	11
Şekil 2.14. 128 elemanlı FMD frekans değerleri.....	11
Şekil 2.15. Kulaklıkta FMD kullanımı için işlem zinciri.....	12
Şekil 2.16. FMD deneysel kulaklık.....	12
Şekil 2.17. Basit lineer FMD.....	13
Şekil 2.18. FMD havaalanında uygulama sahası.....	14
Şekil 2.19. Uçak gürültüsü ölçümleri.....	14
Şekil 2.20. Virginia Tech.'de tasarlanmış tek kol spiral faz dizi.....	16
Şekil 2.21. Kirtman ve ark.(1995) tarafından geliştirilen FMD ve çevre birimleri.....	17
Şekil 2.22. Kirtman ve ark.(1995) tarafından geliştirilen FMD donanım blok diyagramı.....	17
Şekil 2.23. İkili lineer FMD ve filtresi yapılandırması.....	18
Şekil 2.24. National Aeronautics and Space Administration (NASA) FMD test alanı havadan görünüşü.....	20
Şekil 2.25. NASA mikrofon dizisi test alanı yerden görünüşü.....	20
Şekil 2.26. Konuşma tanıma sistemi yapılandırması.....	21
Şekil 2.27. Altı kanallı geciktir ve topla uygulaması.....	22
Şekil 2.28. Mikrofon sistemi ve çevre ilişkisi.....	22
Şekil 2.29. Yapay zekâ tabanlı geliştirilen algoritmanın blok diyagramı.....	23
Şekil 2.30. Türbülanslı akış şematik diyagramı ve mikrofon dizilerinin konumu.....	24
Şekil 2.31. Bir ses kaynağı için yakın alan işaret model geometrisi.....	25
Şekil 2.32. CARDIOPAL II donanımının blok diyagramı.....	26
Şekil 3.1. Dinamik mikrofon kesiti ve empedans uygunlaştırıcı transistör.....	31
Şekil 3.2. Kapasitif mikrofonun yapısı ve yükselteç devresi	32
Şekil 3.3. Karbon tozlu mikrofon.....	33
Şekil 3.4. Elektret mikrofonun parçaları.....	34
Şekil 3.5. Elektret mikrofon.....	34
Şekil 3.6. Şeritli mikrofon.....	35

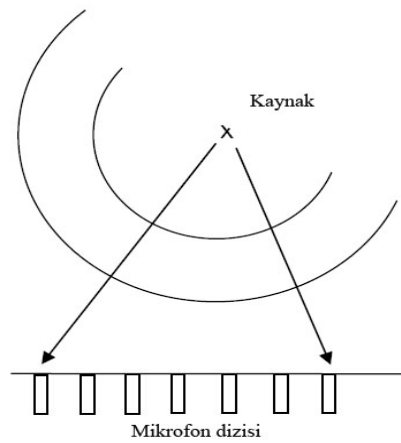
Şekil 3.7. Matsumoto (2006) tarafından geliştirilen N mikrofon sistemi problem formülasyonu.....	36
Şekil 3.8. Matsumoto (2006) tarafından geliştirilen FMD sistemi problem formülasyonu.....	36
Şekil 3.9. Matsumoto (2006) tarafından geliştirilen birleştirilmiş mikrofon formülasyonu.....	37
Şekil 3.10. MATSUMOTO (2006) tarafından geliştirilen FMD genel modeli.....	41
Şekil 3.11. Matsumoto (2006) tarafından geliştirilen birleştirilmiş mikrofon modeli.....	41
Şekil 3.12. Cigada ve ark. (2007) tarafından kullanılan geciktir ve topla algoritmasının temel yapısı.....	43
Şekil 3.13. Cigada ve ark. (2007) tarafından tasarlanan FMD ses kaynağı referans noktasına göre mikrofon dizilerinin konumu ve mutlak referans noktası....	43
Şekil 3.14. Cigada ve ark. (2007) tarafından kullanılan FMD üzerinde i.mikrofon tarafından fark edilen genel sinyal.....	44
Şekil 3.15. Geciktir ve topla yöntemi ile demetleme.....	49
Şekil 4.1. MIT (Massachusetts Institute of Technology) bilgisayar bilimi ve yapay zekâ laboratuvarında tasarlanan 1024 elemanlı mikrofon dizisi.....	54
Şekil 4.2. 1024 elemanlı mikrofon dizisi ile kaydedilmiş cıvıltı sesi spectogramı.....	54
Şekil 4.3. MIT 1-5 numaralı mikrofonların giriş sinyali.....	55
Şekil 4.4. MIT 1-5 numaralı mikrofon sinyallerine filtre uygulanmış hali.....	55
Şekil 4.5. Bir numaralı sinyal HFD frekans spektrumu.....	56
Şekil 4.6. 1-5 numaralı mikrofonlara filtre uygulamadan geciktir ve topla uygulandıktan sonraki sinyal çıktısı.....	57
Şekil 4.7. 1-5 numaralı mikrofonlara filtreli geciktir ve topla uygulandıktan sonraki sinyal çıktısı.....	57
Şekil 4.8. 61,62,63,88,89 numaralı mikrofonların giriş sinyalleri.....	58
Şekil 4.9. 90,91,118,119,120 numaralı mikrofonların giriş sinyalleri.....	59
Şekil 4.10. 61,62,63,88,89 numaralı mikrofonların giriş sinyallerinin filtrelenmiş hali.....	59
Şekil 4.11. 90,91,118,119,120 numaralı mikrofonların giriş sinyallerinin filtrelenmiş hali.....	60
Şekil 4.12. 61,62,63,88,89,90,91,118,119,120 numaralı mikrofonlara geciktir ve topla uygulandıktan sonraki sinyal çıktısı.....	60
Şekil 4.13. İki elemanlı mikrofon dizisinin görüntüsü.....	61
Şekil 4.14. 100 cm. mikrofonlar arası mesafede mikrofon ve konuşmacıların konumu.....	61
Şekil 4.15. İki elemanlı mikrofon dizisinde giriş sinyalleri.....	62
Şekil 4.16. İki elemanlı mikrofon dizisinde giriş sinyallerinin filtrelenmiş hali.....	62
Şekil 4.17. İki elemanlı mikrofon dizisine geciktir ve topla uygulanmış hali.....	63
Şekil 4.18. 155 cm. mikrofonlar arası mesafede mikrofon ve konuşmacıların konumu.....	63
Şekil 4.19. Konuşmacılar arasında 320 cm, mikrofonlar arası 155 cm. giriş sinyalleri.....	64
Şekil 4.20. Konuşmacılar arasında 320 cm, mikrofonlar arası 155 cm. giriş sinyallerinin filtrelenmiş görüntüsü.....	64
Şekil 4.21. Sinyallere geciktir ve topla uygulanmış görüntüsü.....	65
Şekil 5.1. Ses sinyali zaman-genlik grafiği.....	66
Şekil 5.2. Filtrelenmiş sinyal genlik-zaman grafiği.....	66
Şekil 5.3. Ses sinyalleri sayısal veri tablosu.....	67
Şekil 5.4. Referans mikrofon.....	67

1. GİRİŞ

Faz mikrofon dizileri (FMD) ses işlemede günümüzde oldukça ilgi çeken bir konudur. FMD ses kaynağının yerini belirlemek ve belirli noktalardaki ses alımı için kullanılmaktadırlar.

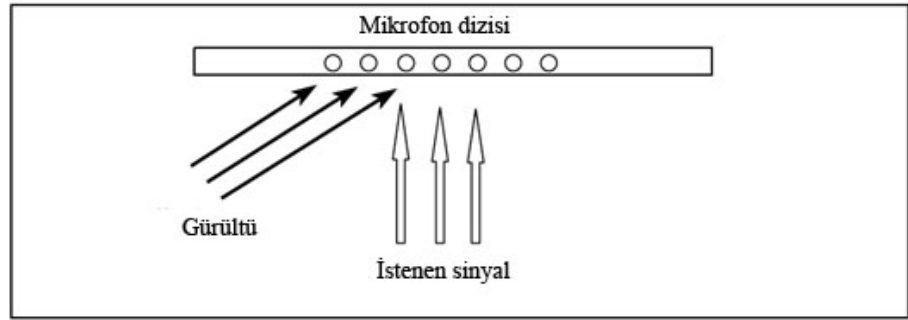
FMD uygulamalarında karşılaşılan en büyük sorun sesin ortamda hareketi esnasında bozulmasıdır. Ses kaynağı ile mikrofon mesafesi bu bozulmanın oranında etkilidir. Pratik uygulamalarda her zaman mikrofonları ses kaynağına yakın bir yere konumlandırmak mümkün olmayabilir. Örneğin belirli bir noktaya yaklaşmakta olan uçak, tren ya da otomobil gibi bir araçların, ya da vahşi hayatta hayvanların konumunu belirlemek istiyorsak bu araçların çıkardıkları sesler dışında pek çok çevresel ses olacaktır ve bu gibi uygulamalarda mikrofonları ses kaynağına yakın tutmak her zaman mümkün olmayabilir. Aynı şekilde bir robotu insan sesi ile yönlendirmek istediğimizde robota komut veren kişinin konumu her zaman aynı olamayacaktır ve ses seviyesi değişken bir karakter göstererek yükselebilecek veya düşebilecektir. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi bir kaynaktan çıkan ses 360 derecelik bir açı ile kaynak çevresinden yayılırken mikrofonlara gelene kadar zayıflayacaktır (Smith ve ark., 2007).

Bu Arada mikrofonlara birden fazla kaynaktan seslerin gelebileceğini de unutmamak gerekir.



Şekil 1.1. Sesin kaynaktan yayılması ve mikrofon dizisi

FMD ses kaynağından alınan sinyallerdeki zayıflamayı gidermek ve birden fazla kaynaktan ses gelmesi ya da şekil 1.2.'de olduğu gibi ses kaynağının istenmeyen bir gürültü kaynağından etkilendiği durumlarda sadece istenen kaynağa yoğunlaşabilmek amacı ile kullanılmaktadır. FMD'nde bulunan her bir mikrofonu ulaşan ses toplanarak daha güçlü sinyaller elde etmek mümkündür. Toplama işlemini yapmadan önce sesin her mikrofonu aynı sürede erişmeyeceğini göz önüne almak gerekir. Bu noktada mikrofonların birbirine olan uzaklığı ve her bir mikrofonun ses kaynağına olan mesafesi önem kazanmaktadır. Sesi toplamadan önce ses kaynağının konumunu tespit edip kaynağın mikrofonlara konumuna göre ses sinyallerinde gecikmeler yapmak gerekir. Bunu göz ardı edilerek yapılacak bir uygulamada istenilen ses sinyaline ulaşmak mümkün olmayacağı gibi ses sinyalini güçlendirmek istenirken sinyali anlamsız yapmakta mümkündür.



Şekil 1.2. Mikrofon dizisine gelen istene sinyal ve istenmeyen gürültü

Mikrofonlar değişik çalışma prensiplerine göre tasarlanırsalar da genel anlamda mikrofon Ortamda ilerleyen ses dalgaları mikrofonun diyaframına ulaştıktan sonra elektrik sinyaline dönüştürür.

FMD uygulamalarında sesin kaynağını ses kaynağı sabit ya da hareketli iken bulabilmek amacı ile Geciktir ve Topla (Delay and Sum), MUSIC (Multiple Signal Classification), ESPRIT (Estimation Of Signal Parameters Via Rotational Invariance Techniques) kullanılan algoritmalarından bazılarıdır.

FMD ile ses kaynağının tespitinde en az 2 mikrofonun kullanılması gerekmesine karşın bu sayı artırılabilir. İki mikrofonlu bir uygulamada bile ses kaynağının yaydığı ses sinyalinin birbirinden farklı konumdaki iki mikrofonu farklı zamanlarda ulaştığı varsayılırsa iki mikrofon arasında bir zaman farkı oluşmaktadır.

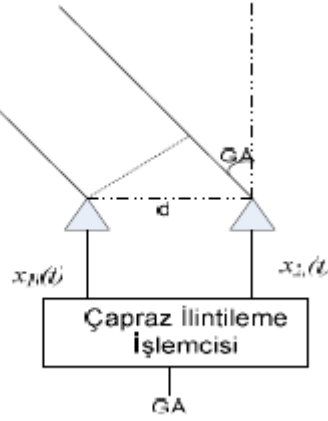
Gürültünün bulunduğu bir ortamda sadece istenen yönden gelen sinyalin elde edilmesinde demetleme yapılması gerekir. Demetlemenin temeli ses sinyallerinin ortamda yayılması esnasında her noktaya aynı anda ulaşamadığı esasına dayanır. Demetleyici ile işlenen ses sinyalinde mikrofonlar arasındaki faz farkı da giderilmiş olur. Demetleyici kaynaktan ortama yayılan ses sinyalini her mikrofonda değişik zamanlarda elde ettikten sonra mikrofonların konumuna ve ses kaynağının konumuna göre uygun gecikmeleri uygulayarak ses sinyallerini üst üste gelecek şekilde toplar. Bu sayede istenilen sinyale ulaşılabilirdiği gibi çevresel faktörlerden oluşan gürültü sinyalinin olumsuz etkileri de giderilmiş olur. Demetleme yöntemi ile ses kaynağının konumunun tespiti, ses sinyalinin kalitesinin artırılması uygulamalarda yer bulmaktadır.

Bu tez çalışmasında FMD kullanılarak elde edilen ses sinyallerinin güçlendirilmesi amacı ile geliştirilen yöntem 2 ve 1024 elemanlı FMD üzerinde uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. 1024 elemanlı mikrofon dizisinde işlemlerde kolaylık sağlamak amacı ile aradan örnek mikrofonlar seçilerek oluşturulan 5 ve 10'lu mikrofon oluşumları kullanılmıştır.

Tezin 2.bölümünde mikrofon dizileri ile ilgili daha önce yapılan uygulamalara, 3. Bölümde materyal ve yönteme, 4.bölümde araştırma bulguları ve tartışmaya, 5.bölümde sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

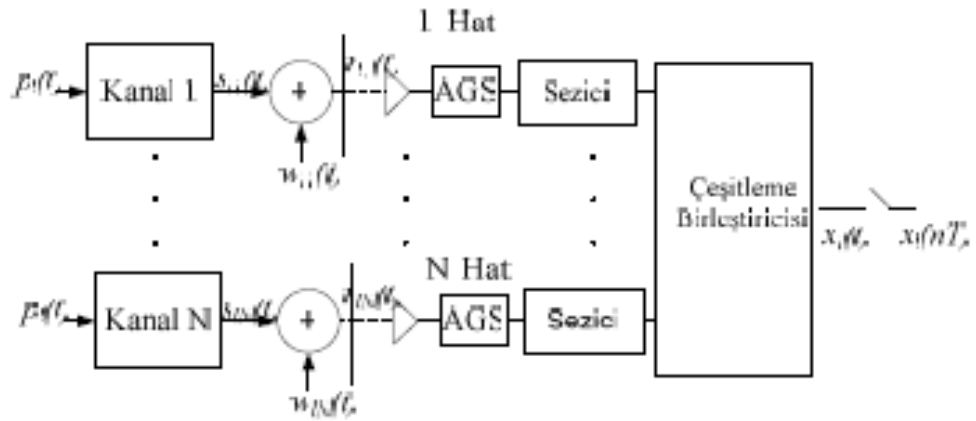
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Başçıftçi ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada geliş açısının (GA) açık havada çok yollu bir ortamda GZFPÖ (Geliş Zamanları Farkının Pasif Ölçülmesi) yöntemi ile kestirilmesini incelemiştirler. Şekil 2.1.'deki sistem modelinde iki almaç sistemi tarafından alınan işaretler, takip eden bir çapraz ilintilenme işlemcisi yardımı ile yön bilgisine dönüştürülmektedir.



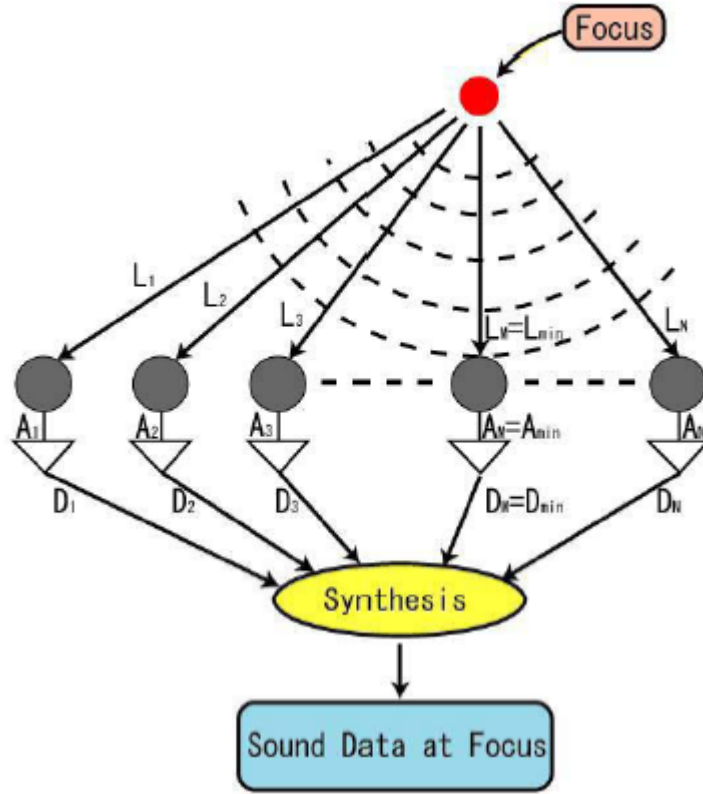
Şekil 2.1. Geliş açısının açık havada GZFPÖ yöntemi ile kestirilmesinde kullanılan sistem modeli.

Çapraz ilintilenme GZFPÖ yöntemiyle GA kestiriminin başarımı çeşitleme kullanılarak artırılabilir. Bu amaçla Şekil 2.2.'deki sistem modeli geliştirilmiştir.

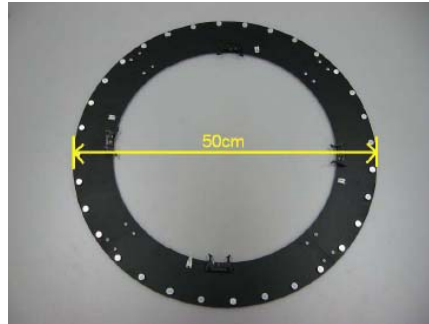


Şekil 2.2. Çapraz ilintilenme GZFPÖ yöntemiyle GA kestiriminin başarımının çeşitleme kullanıldığı durumdaki amaç sistem modeli.

Tamai ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada robotların duyma yeteneklerinin geliştirilmesi için dairesel mikrofon dizileri üzerinde çalışmışlardır. Şekil 2.3.'de yapısı verilen geciktir ve topla algoritması kullandıkları uygulamalarında 32 kanallı dairesel bir mikrofon dizisine sahiptiler. Her bir mikrofon ses kaynağından farklı zamanlarda sinyal alacaktır. Bu farklılık ancak uygun gecikme uygulandığı zaman giderilebilir. Şekil 2.4.'de kullanılan primo yönlü kondansatör mikrofon model EM-100PT görülmektedir.

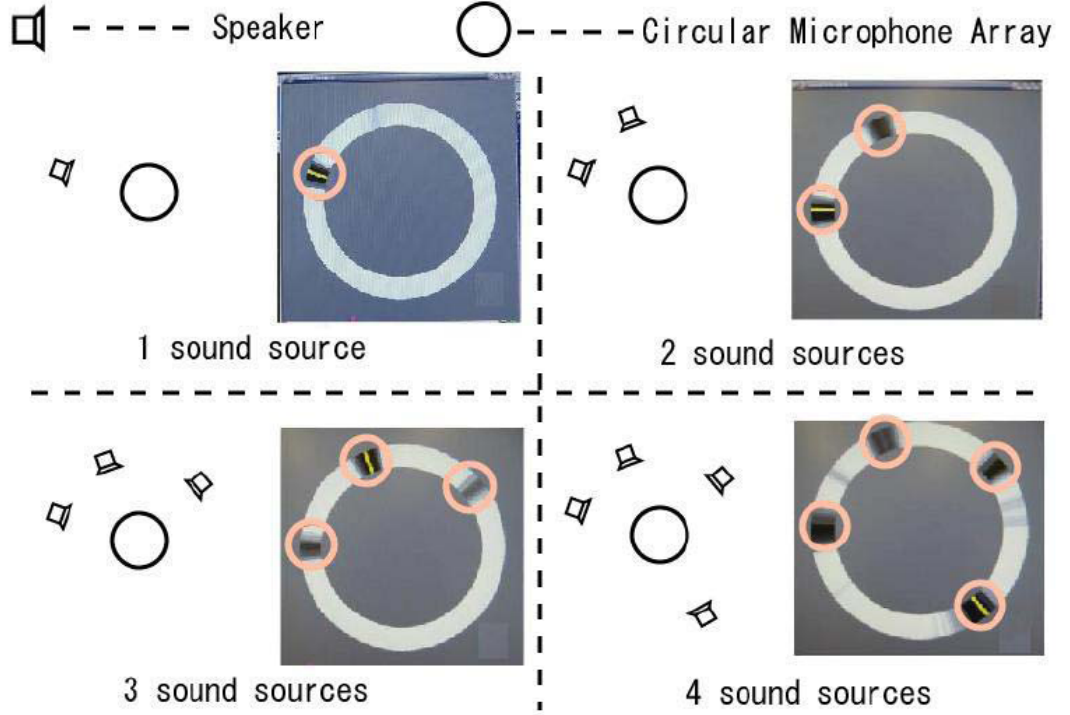


Şekil 2.3. Geciktir ve topla algoritması blok şeması.



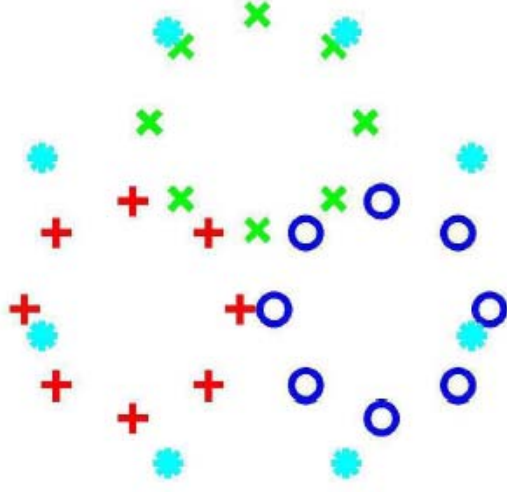
Şekil 2.4. 32 kanallı dairesel FMD yerleşimi.

32 kanallı ve 50 cm çapındaki mikrofondizisinin etrafına şekil 2.5.'deki gibi ses kaynakları yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarının işlenmesi esnasında 32 kanallı (IEEE 1394 32-channel A/D board) kart kullanılmıştır.

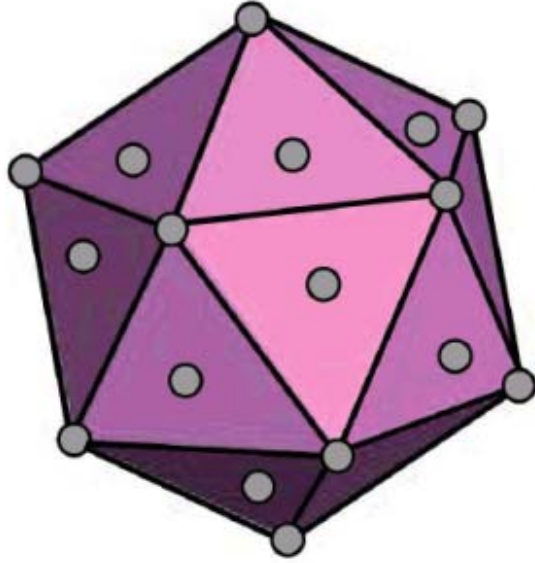


Şekil 2.5. Mikrofon dizisinde 1, 2, 3 ve 4. ses kaynağının mikrofondizisinin etrafındaki yerleşim düzeni.

Bunların yanında Tamai ve ark. (2004) yeni mikrofondizisleri de geliştirmişlerdir. Bunlardan birincisi yeni dairesel mikrofondizisi şekil 2.6.'da ve üç boyutlu mikrofondizisi ise şekil 2.7.'de verilmiştir. Şekil 2.6.'da verilen mikrofondizisinde mikrofondizisi çevresi 50 cm, her çemberde 8 mikrofondizisi bulunuyor buna göre $3 \times 8 = 24$ toplam mikrofondizisi sayısı var. Bu tasarımla mikrofondizisi setine derinlik verilmeye çalışılıyor. Bu tasarım robot üzerine monte edilmiş ve gerçek bir ortamda denenmiştir. Deneysel sonuçlar 2 Hz veya daha fazla, 3 derecelik bir hata payı varsayılarak alınmıştır. Bu mikrofondizisi dizilerini kullanarak sinyal-gürültü oranını lehimize çevirmek mümkün olabilir. İnsan-makine etkileşimini amaçlayan bir robotun gürültü oranı düşürülmüş temiz sesi elde etmesi gerekmektedir.



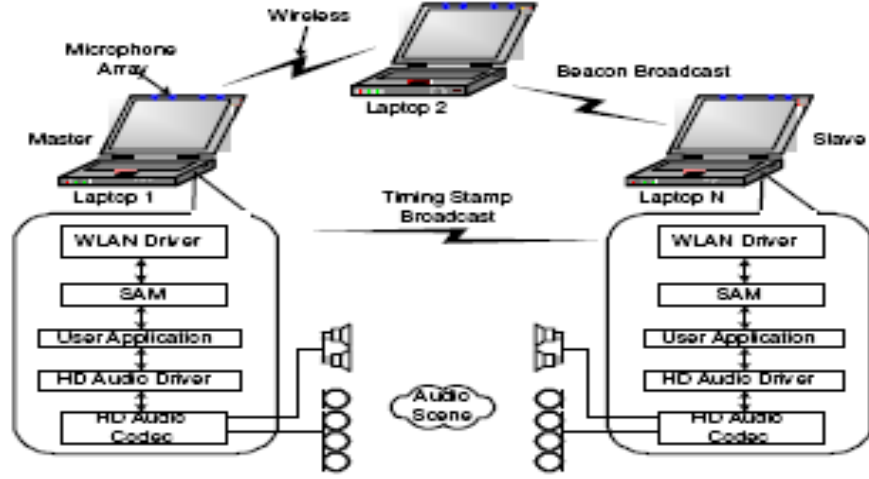
Şekil 2.6. Yeni dairesel FMD elemanlarının yerleşimi.



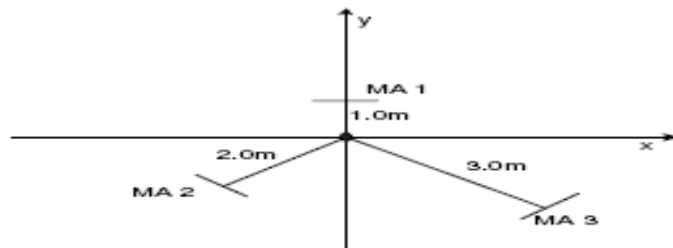
Şekil 2.7. Üç boyutlu FMD eleman yerleşimi.

Kozintsev ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada sayısal ev ve bürolar için mikrofon dizisi dağıtımı yapılan çalışmanın sistem şeması Şekil 2.8.'de verilmiştir. Şekil 2.9.'da da örnek dizi ve hedef-kaynak yapılandırması verilmiştir. Sistem N adet dizüstü bilgisayardan oluşabilir. Her dizüstü bilgisayar çok kanallı duyum, işlem,

iletişim kapasitesi ile entegredir. Akustik sinyallerin kaydedilmesi mikrofon dizileri ile inşa edilirken 16~24bit integer örnekleme modeli 8 kHz ve 48 kHz sınırları arasındadır. Her bir platform yüksek hızda veri transfer etme özelliğine sahip WLAN kartları ile donatılmıştır. Güncel olarak, dizüstü bilgisayarların işlemcileri ve yonga setleri 4GB üzeri bellek destekler ve sayısal sinyal işlemeye imkân tanır. Böylece, kişisel bilgisayar sinyal işleme için güçlü bir platform olur; çünkü enerjide zorlanmaz, işlemler hızlıdır, bant genişliği yüksektir. Böyle bir yapıda telekonferans yeteneği yüksektir. Böyle bir sistemde problem, yüksek oranda sinyal işleme sırasında zaman senkronizasyonudur. NTP (Network Time Protocol) ve GPS (Global Positioning System) bu problemin çözüm yolu olabilir.

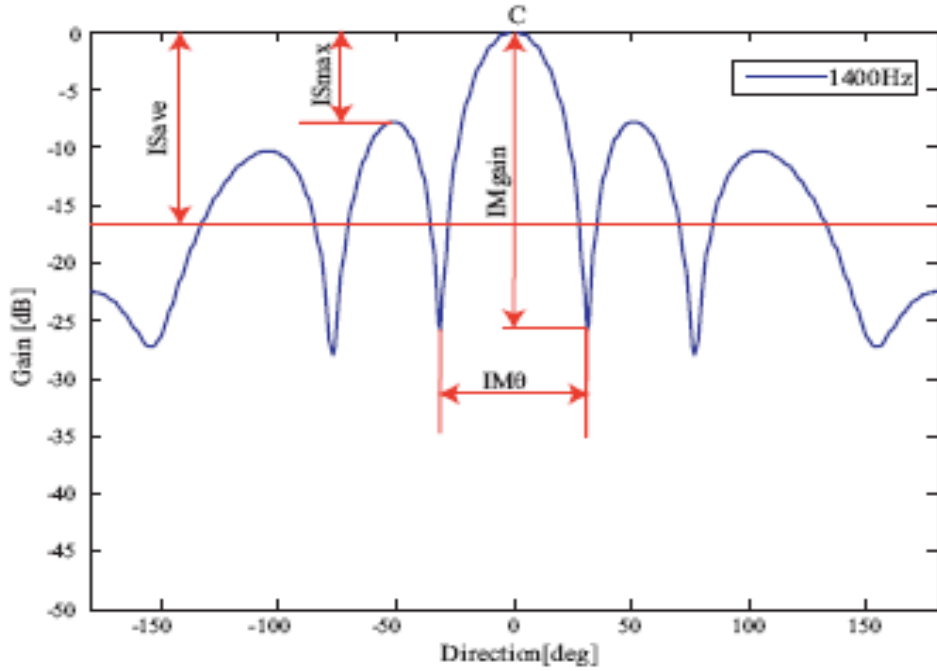


Şekil 2.8. Intel laboratuvarlarında geliştirilen ses yakalama sistemi şeması.



Şekil 2.9. Sayısal ev ve bürolar için geliştirilen FMD örnek dizi ve hedef-kaynak yapılandırması.

Fujihara ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada mikrofon dizilerinin yerleşim optimizasyon metodlarını, geciktir ve topla metodunu 128 mikrofonluk bir dizi üzerinde incelemişlerdir. Geciktir ve topla metodu robot uygulamalarında kullanılan bir tekniktir. Bu metod 2 avantaj sunmaktadır. Birincisi, ölçüm değeri oldukça ufak, ikincisi ise, örneğin oda transfer fonksiyonu gibi çevresel veri olmadan da kullanılabilir. Şekil 2.10.'da görüldüğü gibi çalışmalarında dört temel değer üzerine tutmuşlardır. Şekil 2.11.'de 32 mikrofonlu ve Şekil 2.12.'de 128 mikrofonlu mikrofon dizilerinin değer indeksi ve Şekil 2.13.'de 32 mikrofonlu ve Şekil 2.14.'de 128 mikrofonlu mikrofon dizilerinin frekans değerleri incelenmiştir. 128 elemandan oluşan kondansatör mikrofon dizisi (Primo EM-100PT) donanımı 376 mm dairesel bir yapıya, 16 bit genişlik, 16 kHz örnekleme hızına, USB arabirimine, +5v güç girişine sahip. Deney odasında ses kaynağı mikrofon dizisine 2 metre uzakta bulunmaktadır.

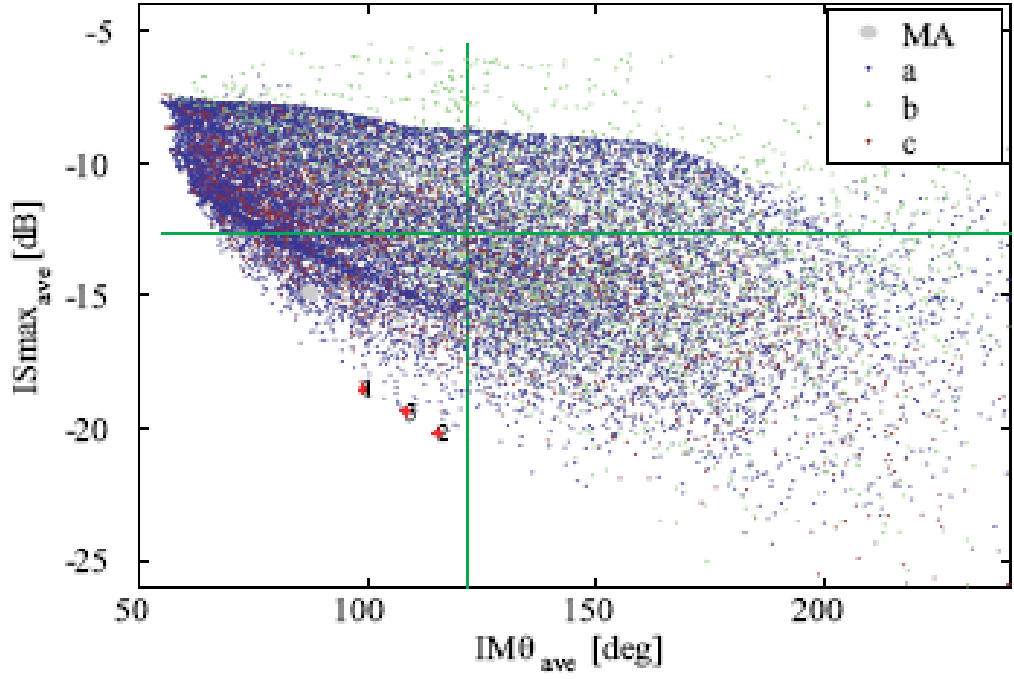


Şekil 2.10. FMD dört değer indeksi.

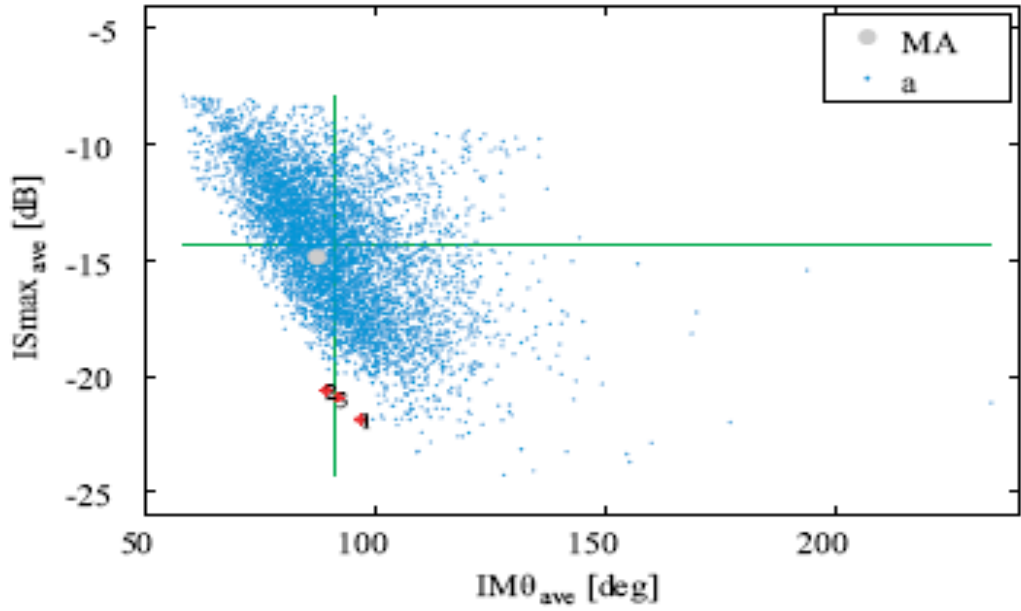
Tekerlek ve mikrofon seti tasarımı için çalışmada aşağıdaki konulara dikkat edilmiştir:

- Büyüklük: Gerçekleştirilen tasarımın robota monte edilebilir büyüklükte olması hedeflenmiştir.
- Yüksek Sinyal-gürültü oranı bir bant genişliği arasında elde edilir.

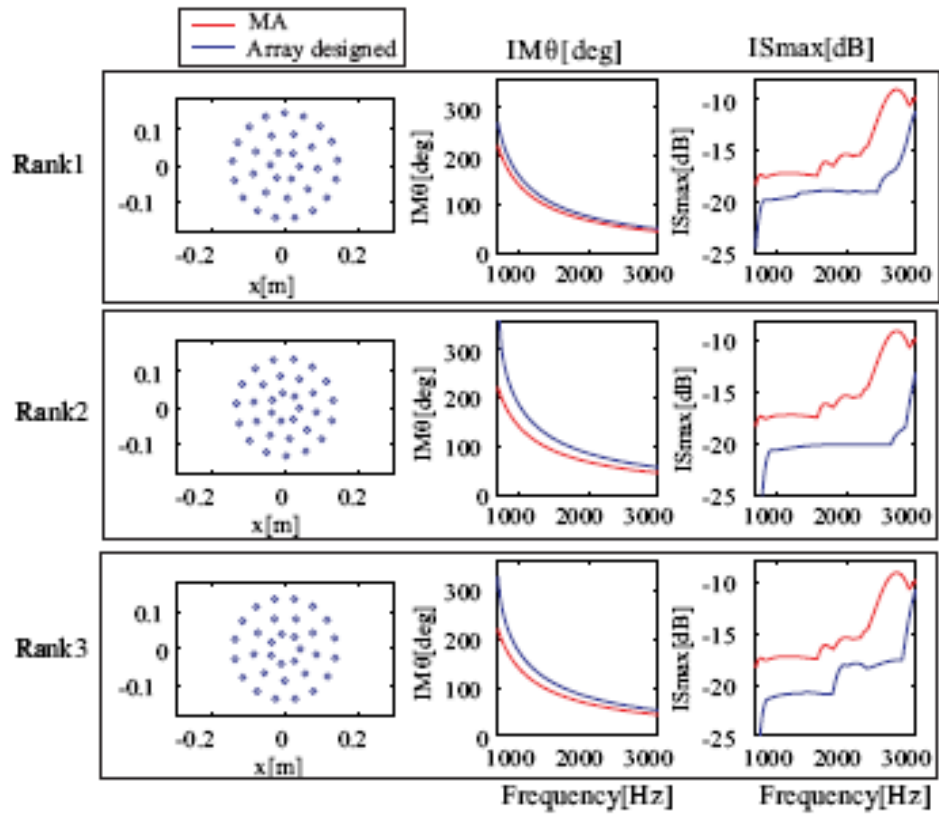
- Robotu çevreleyen açılardan sinyal elde edebilmek.



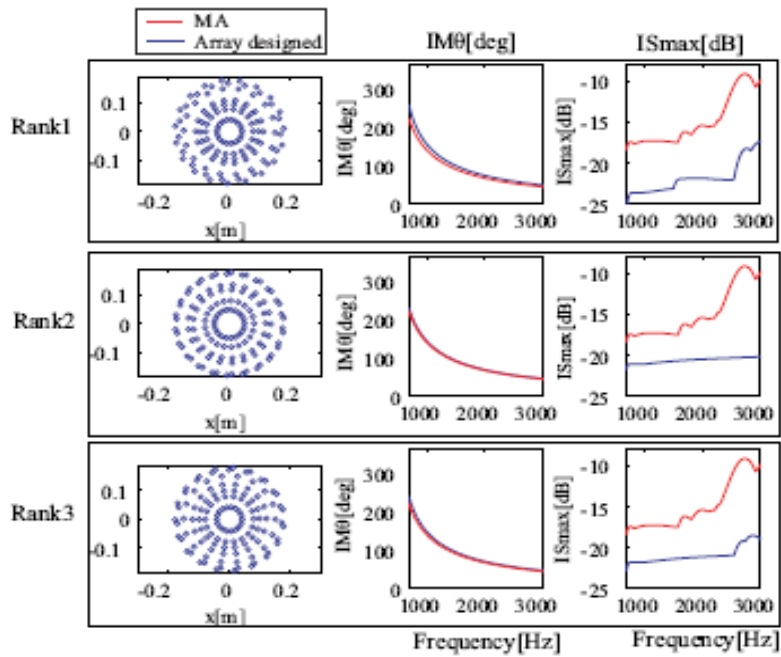
Şekil 2.11. 32 elemanlı FMD mikrofon yayılma indeksi.



Şekil 2.12. 128 elemanlı FMD mikrofon yayılma indeksi.

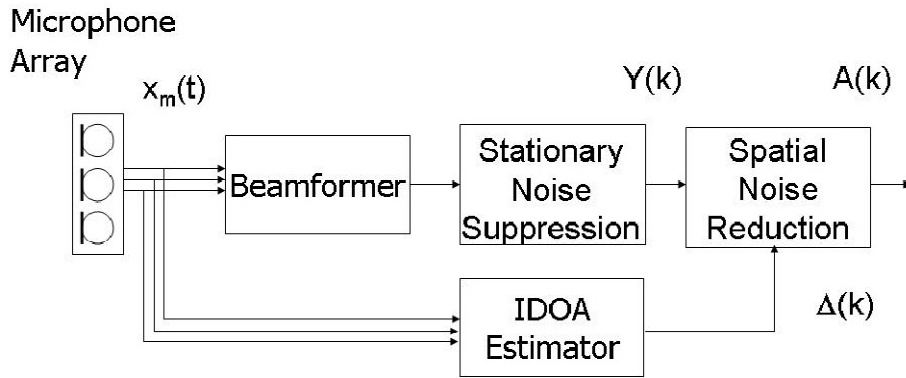


Şekil 2.13. 32 elemanlı FMD frekans değerleri.



Şekil 2.14. 128 elemanlı FMD frekans değerleri.

Tashev ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada kulaklıklardan gelen küçük bir mikروفon dizisi sinyallerini işlemek için üç aşamalı karma mikروفon dizisi mimarisi kullanır. İşleme zincirinde sabit end-fire demetleme şekillendirici vardır. Şekil 2.15.'de işlem zinciri verilen üç elemanlı mikروفon dizisinden alınan ses demetleme şekillendirme işleminden sonra sabit ses bastırma oradan da spatial ses azaltıcıya (Spatial Noise Reduction) yönlendirilir. Mikروفonların az sayıda olmasından dolayı algoritmanın sınırlı bir düzeyde kalmaması için spatial ses azaltıcı kullanılmıştır. Bu sayede gürültünün olumsuz etkileri en aza indirilebilmektedir. Uzak arazi tasarımının algoritması kafanın etrafındaki ses kırımını ve ağzın alabileceği yönü telafi etmek için kulaklığın özellikleri göz önüne alınarak düzenlenmiştir. Spatial ses azaltıcı baskılama kuralı çoklu yönlere geneller. Algoritma üç elemanlı mikروفon dizisi kullanan bir set ile denenmiştir. Hesapsal olarak kullanışlıdır. 18 dB'e kadar ses baskılaması sağlar. Örnek donanım Şekil 2.16.'da verilmiştir.



Şekil 2.15. Kulaklıkta FMD kullanımı için işlem zinciri.



Şekil 2.16. FMD deneysel kulaklık.

Smith ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada mikrofon dizileri kullanarak gürültü kaynağının belirlenmesine çalışmışlardır. Havacılık endüstrisinde mikrofon dizilerinde demetleme şekillendirici kullanarak kaynağın yerinin tespit edilmesi standart bir yöntem olmuştur. Havacılıkta ölçümler motor sesinin kaynağının ve hava çerçeve sesinin kaynağının bulunması için kullanılır. Yapılan uygulamalar arasında motor test yatakları, hava çerçevesi öğelerinin rüzgâr tüneli testleri, uçuş esnasında uçak üzerinde ölçümler ki uçuş esnasında temsili aerodinamik şartlar altında çalışan uçağın uçaktan gelen seslerin kaynağının belirlenmesinde önemli bir avantaj sağlar. Ticari mikrofon dizisi uygulamaları başka uygulamalarda mevcut olmasına rağmen bunların tipik ses kontrol problemlerinde uygulanması sınırlı bir düzeyde kalmıştır. Bunun muhtemel nedeni daha kolay ve ucuz ölçüm tekniklerinin olmasıdır.

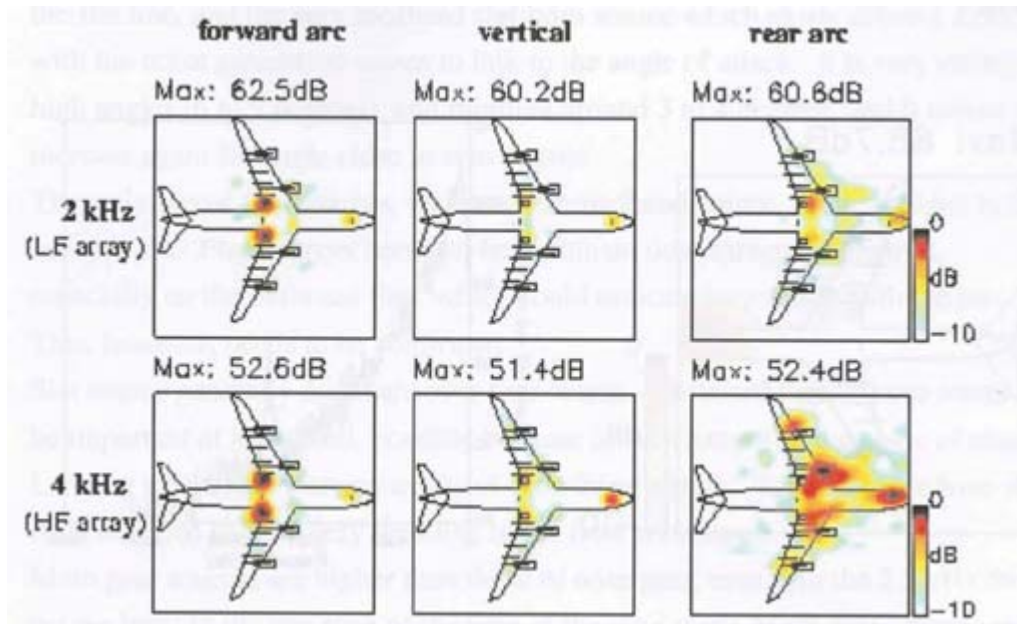


Şekil 2.17. Basit lineer FMD.

Bir lineer mikrofon dizisini hem inşa etmek kolay hem de kullanmak kolaydır. Şekil 2.17.'deki mikrofon dizisine algoritma geliştirilirken hem uçağın geliş yönünün bilindiği hem de bilinmediği durumlara göre iki farklı algoritma geliştirilmiştir. Kullanılan elektret mikrofonlar genlik ve faz yanıtları oldukça iyi mikrofonlardır. Bu mikrofonlarda 10 derecelik hata payları olabilmektedir. Şekil 2.18.'de mikrofon dizilerinin sahadaki konumu ve Şekil 2.19.'da da uçak gürültü ölçümleri verilmiştir.



Şekil 2.18. FMD havaalanında uygulama sahası.



Şekil 2.19. Uçak gürültüsü ölçümleri.

Çeşitli çok alıcılı kaynak belirleme metotları vardır. Bunlar arasında basit binaural insan duyması veya ikinci alıcılı yoğunluk ölçümleri, yakın arazi hologram metotları ters kaynak belirleme teknikleridir. Mevcut metotlar arasında demetleme şekillendirme uygulaması ve yorumlaması en basit ve kullanışlı teknik olarak düşünülür. Mikrofon dizisine gelen sinyaller düşünüldüğünde demetleme şekillendirme her bir mikrofonu

düşünülen ses kaynaklarının gelen sinyallerin yayılmasını düzeltmek için bir frekans bağımlı faz düzeltmesi uygular. Bu düzeltme gelen sinyallerin düzgün bir sinyal olduğu varsayılarak yapılabilir ya da küresel sinyal yayılması olan tek kutuplu kaynağa farz edilen mesafeye bağlı olarak olabilir. Demetleme şekillendiricinin çıktısı tüm kanalların toplanması ile hesaplanır. Farz edilen kaynak yeri gerçek kaynak yeri ile aynı ise çıktı maksimum düzeydedir.

Data PXI-4472 sistemi kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Zaman alan'lı olan veri Fourier dönüşümlüdür. Her bir mikrofon çifti arasındaki spektra matrisi hesaplanmıştır.

$$C_{mn}(f) = \frac{1}{KW_s} \sum_{k=1}^K P_{m,k}^*(f) P_{n,k}(f) \quad (2.1.)$$

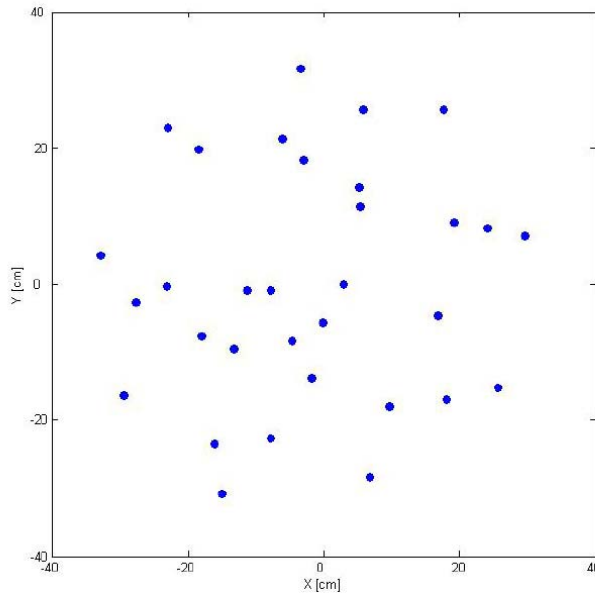
Denklem 2.1.'de K ortalamaların sayısıdır. W altına s zaman penceresidir, * karmaşık eşleniği göstermektedir. Potansiyel kaynak noktaları bir tarama panosunda belirlenmiştir ve her bir mikrofon / kaynak çifti serbest alanda gren fonksiyonu ile tanımlanmıştır.

$$A = \frac{\mathbf{g}^T C \mathbf{g}}{M^2} \quad (2.2.)$$

Denklem 2.2.'de M mikrofon sayısıdır. T ise hermition transpoze matrisidir. 1/3 oktav band sonuçlarının hesaplanması, her bir banda tek tek frekansların hesaplanması ile yapılmış ve ortalamaları bulunmuştur.

Wiens ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada kuş gibi hayvanların seslerinin dinlenerek yerlerinin belirlenmesi hayvanların üzerine radyo vericisi yerleştirilmesi gibi klasik metotlardan çok daha kullanışlı ve insancıldır. Vahşi hayatta seslerin yerlerinin belirlenmesinde mikrofon dizileri olumlu sonuç vermektedir. Bu sayede sesin gelişindeki zaman farkından yararlanılarak kaynak yeri tespiti yapılmıştır. Yoğun yağmur ormanlarında sesin geldiği mesafe çalılıklar altında çok kısadır. Bu yüzden mikrofon dizilerinde çok fazla mikrofon elemanı kullanılmalıdır. Bu çalışmada sesin ve kaynağının belirlenmesi için az sayıda yönlendirilebilir fazlı mikrofon dizileri kullanıldığı alternatif bir metot sunulmuştur. Her iki metodun karşılaştırıldığı bir benzetim çalışması yapılmıştır.

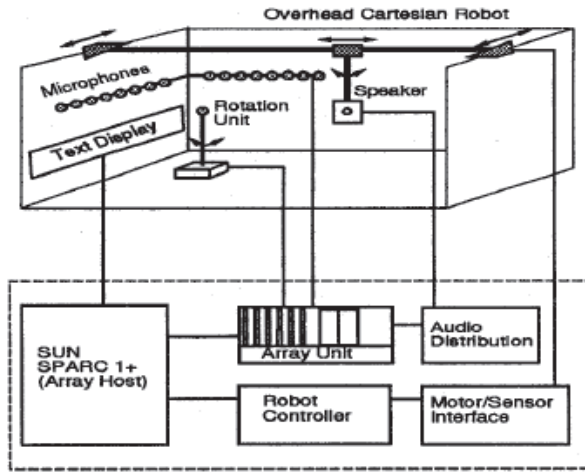
Ravetta ve ark. (2004) çalışmada fazlı dizi teknolojileri ayrodinamik seslerin kaynaklarının belirlenmesi için Virginia tech.'de 32 elemanlı bir mikrofon faz dizisi tasarımı yapmış, test etmiş ve monte etmişlerdir. Rüzgâr tünelineki ön testler bu dizinin hava akış içi ve hava akış dışı şartlardaki performansını görmek için yapılmıştır. Boeing 777 uçaklarının ana iniş takımının %26 ölçeklisinde ses kaynak belirleyici Virginia tech.'de 6 ya 6 sabitlik rüzgâr tüneline uygulanmıştır. Aşamalı bir dizi ölçümün ana amacı sesi gösteren bir resim oluşturmaktır. Bunun için her frekansta en uygun akustik kaynağın elde edilmesi gerekir. Fazlı dizilerde desen rastgele yerleşimden ızgara dizime kadar geniş bir yelpazede değişebilir. Son yıllarda spiral yapılanmanın çok sık kullanıldığı gözlemlenmiştir. Desen ve boyut yararlı frekans aralığı ve gürültü sinyallerinin uzaysal çözünürlüğünü tanımlar. İstenen sonuçları elde edebilmek için ham verinin demetleme şekillendirme algoritması ile işlenmesi gerekir. Bu araştırmada en fazla 32 mikrofonluk, 4-18 kHz aralık gibi çeşitli faktörler dizi tasarımı için dikkate alınmıştır. Şekil 2.20.'de verilen Tek kol spiral faz diziden diğerlerine göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. Tasarlanan yapı 10 kHz tek kutuplu bir kaynak için demetleme şekillendirme simülasyonu ile denenmiştir.



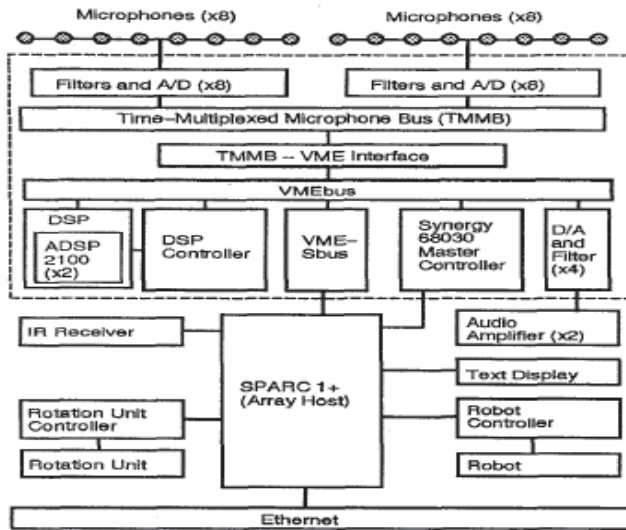
Şekil 2.20. Virginia Tech.'de tasarlanmış tek kol spiral faz dizi.

Kirtman ve ark. (1995) yaptıkları çalışmada sayısal akustik dizi işaret işleme ortamı tasarlanmış ve gerçek verilerle test edilmiştir. Sistem etkileşimli sayısal işleme

bileşenlerinde oluşuyor. Veriler MATLAB programı kullanarak analiz edilmiştir. Ek olarak sistem kullanıcı dostu elektronik ve elektromekanik çevre birimlerinden oluşturulmuştur. Zamansal ve mekânsal analiz ve akustik dizi değerlendirilmesi algoritmaları kullanılmıştır. Mikrofon teknolojileri konuşma tanıma ve telekonferans gibi sistemlerde hayati rol oynamaktadır. Buna benzer sistemlerde kullanıcı dostu, kullanımı için eğitime ihtiyaç duyulmayan ara yüzler tasarlamak gereklidir. Uygulamalarda veri toplama, ses kaynağının konumuna göre mekânsal işleme için algoritma geliştirmek şarttır. Şekil 2.21.'de araştırmacılar tarafından geliştirilen kullanıcı dostu sistem yapısı, Şekil 2.22'de sistem donanımının blok diyagramı verilmiştir.



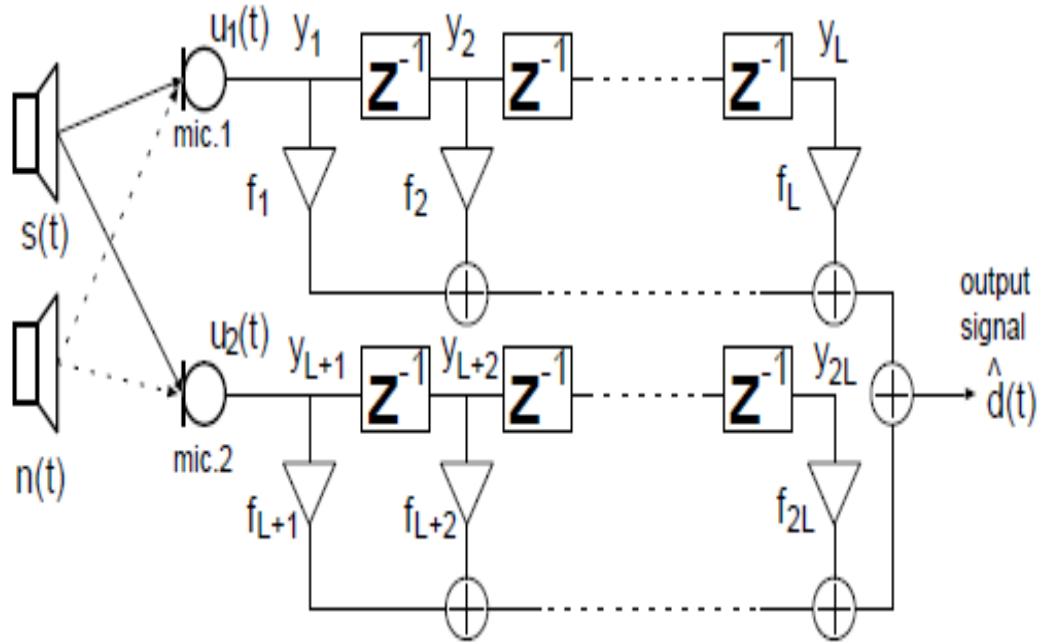
Şekil 2.21. Kirtman ve ark.(1995) tarafından geliştirilen FMD ve çevre birimleri.



Şekil 2.22. Kirtman ve ark.(1995) tarafından geliştirilen FMD donanım blok diyagramı.

Birinci ve Leblebicioğlu (1995) yaptıkları çalışmada gürültü kaynakları içeren bir ortamda yüksek kalitede ses alımı için bir mikروفon dizisinin, verilen belirli sınırlamalar içinde, uygun şekilde yerleştirilmesi amacıyla önerilen yeni bir yöntem sunmaktadırlar. Yerleri ve sinyal güçleri bilinen bir ses kaynağı ve N adet gürültü kaynağı içeren bir alanın etrafına ses kaynağından yüksek kalitede sinyal alabilecek şekilde M elemanlı bir mikروفon dizisi yerleştirilecektir. Sinyal ve gürültü kaynağının tüm-yönlü mikروفonların ise 180^0 'lik kapsama açısına sahip olduğu varsayılmıştır. Mikروفonların en az 0.1 metre en çok 5 metre aralıkla ve sadece alanın kenarlarına yerleştirilmesi düşünülmüştür. Problemin genetik algoritma kullanılarak çözülebilmesi için çalışma alanına eşlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla uygunluk fonksiyonu kullanılmış ve çözüm kümesi kodlanarak genetik çalışma alanına eşlenmiştir.

Suyama ve Takahashi (2003) yaptıkları çalışmada iki mikروفon faz dizisi kullanarak hedef sese ulaşmaya çalışmışlardır. Böyle bir iki mikروفonlu uygulama kişisel bilgisayar temelli alanlarda kendine kullanım alanı bulabilmektedir. Şekil 2.23'de yapılan çalışmaya ait yapılandırma görülmektedir.



Şekil 2.23. İkili lineer FMD ve filtresi yapılandırması.

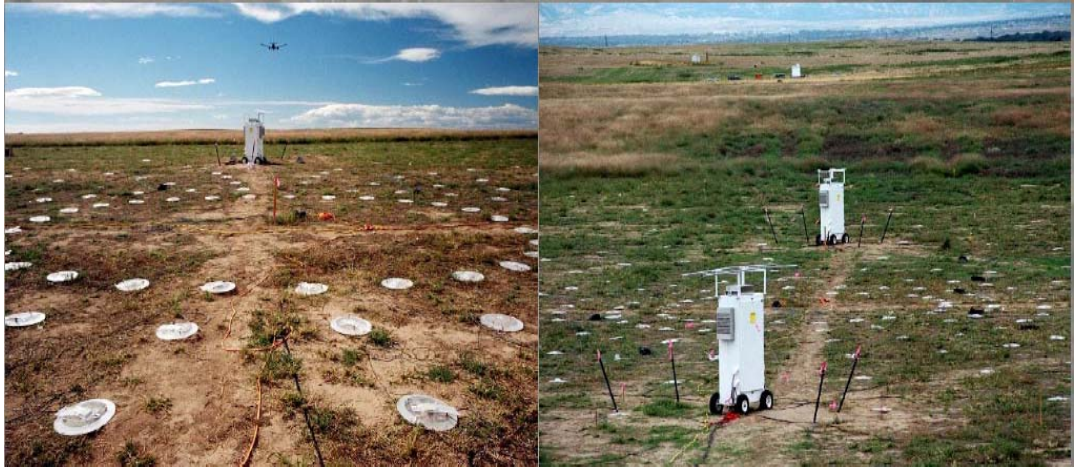
İkiz ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada mikrofon yardımı ile kayıt edilen ses sinyallerinden wavelet dönüşümü ve yapay sinir ağı yardımı ile konuşmacı kimliğinin tespit edilmesini sağlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda ses sinyalleri PC ortamına mikrofon yardımı ile alınmış ön işleme ve gürültü temizleme işleminden sonra MATLAB programı ile veriler parçacıklara ayrılmış, sonrasında da sınıflanmıştır. Sesli ifade üzerinde araştırmalar telefonun icadı ile başlamıştır. Bu araştırmalar sonucunda ilk sesli ifade kodlama tekniği olarak 1938'de genlik kodlaması modülasyon (PCM, Pulse Code Modulation) tekniği bulunmuştur. Bu yöntemle sesli ifade örneksel olarak kodlanmaktadır. 1960'dan sonra sayısal elektronik devrelerin ve bilgisayarların gelişmesiyle sesli ifadenin sayısal olarak kodlanması da mümkün olabilmiştir. Sesli ifade tanıma, bir sesli ifade sinyalinin sınırlı sayıda simgelerle ifade edilmesi olarak tanımlanabilir. Amaç ses sinyalinin yazılı eşdeğerinin bulunmasıdır. Sesli ifadenin yazılı karşılığının bulunması insan-bilgisayar arası iletişimi çok daha kolay bir hale getireceğinden, bilgisayarın daha kullanışlı bir duruma gelmesini sağlar.

National Aeronautics and Space Administration (2005) tarafından gerçekleştirilen mikrofon dizilerinin yararları başlıklı çalışmada uçakların konumunun saptanması konusunda çalışma yapılmıştır. Şekil 2.24'te havadan, Şekil 2.25'de yerden yerleşimi verilen sistem şu bileşenlerden oluşmaktadır:

- 252 elemanlı mikrofon faz dizisi
- Meteorolojik olaylar için iki adet lazer radar
- Akustik radar
- Pervane anemometreler ile nokta sıcaklık ve bağıl nem sensörleri.
- Mikrodalga radyometre
- Sonic anemometre
- ARTS Radar ve ASOS ek ölçüm üniteleri
- Socrates lazer radar
- DLR mikrofon faz dizisi
- WLR mikrofonlar



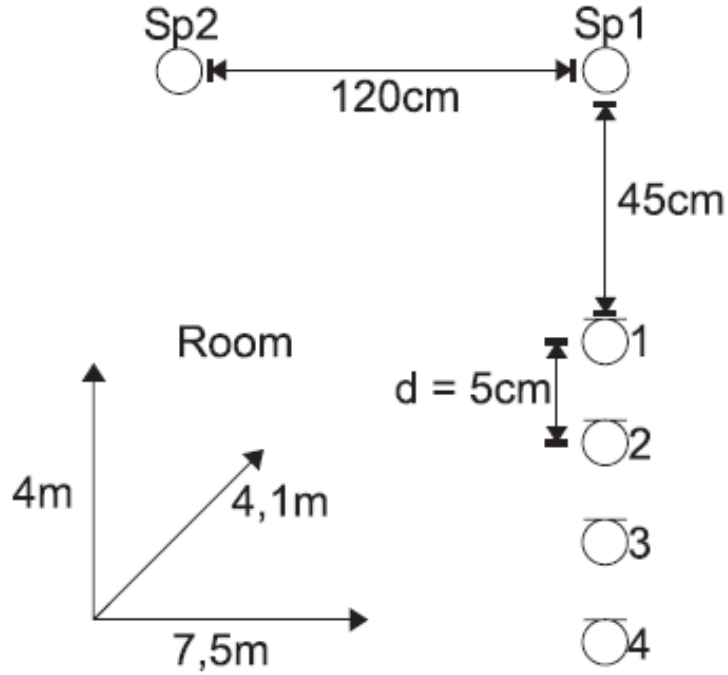
Şekil 2.24. National Aeronautics and Space Administration (NASA) FMD test alanı havadan görünüşü.



Şekil 2.25. NASA mikrofon dizisi test alanı yerden görünüşü.

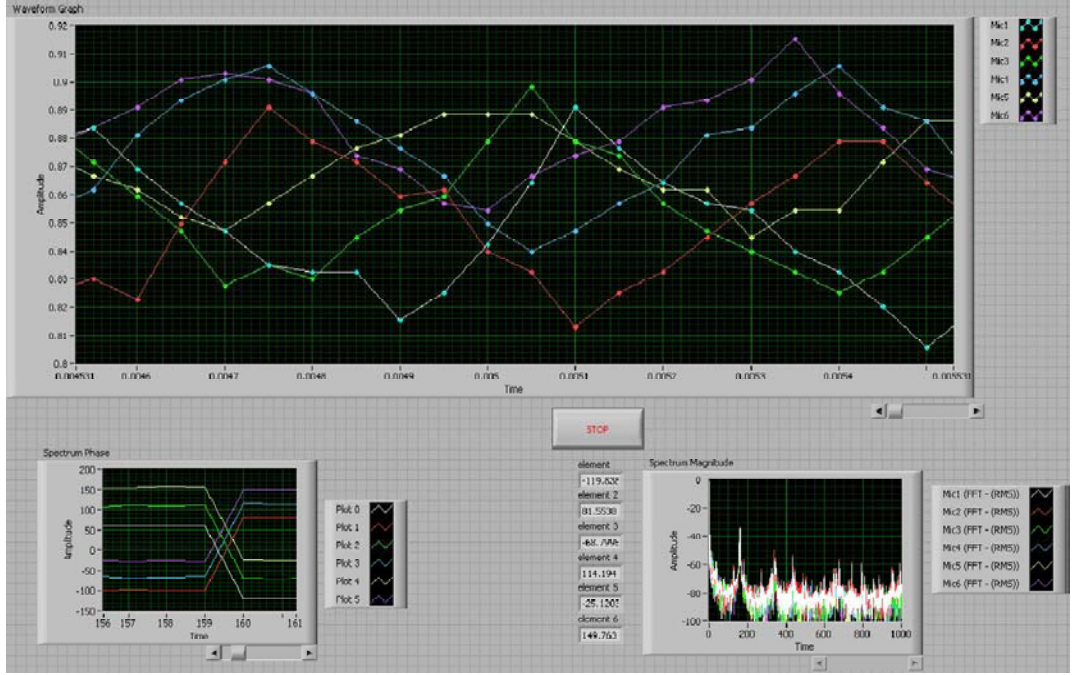
Bitzer ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada çoklu mikrofon gürültü azaltma teknikleri ve konuşma tanıma için cihaz geliştirmişlerdir. Bir mekânda uygulanacak ses tanıma uygulamasında gürültü giderilmesi gereken bir sorundur. Bu durumda, standart gürültü azaltma içinde spektral çıkarma gibi teknikleri, çoklu mikrofon teknikleri kullanılarak tanıma oranı yükseltebilir kabul etmektedirler. Araştırmacılar bulgularında

çoklu mikrofon tekniklerinin tanıma oranını artırdığı ve sistemin daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlar. Kişisel bilgisayar kullanıcıları giderek konuşma tanıma sistemlerine ilgi duymaktadırlar. Bu uygulamaların tek mikrofonlu ve çoklu mikrofonlu örnekleri mevcut olmasına rağmen Şekil 2.26.'da olduğu gibi çoklu mikrofonlarda verimin arttığı bilinmektedir.



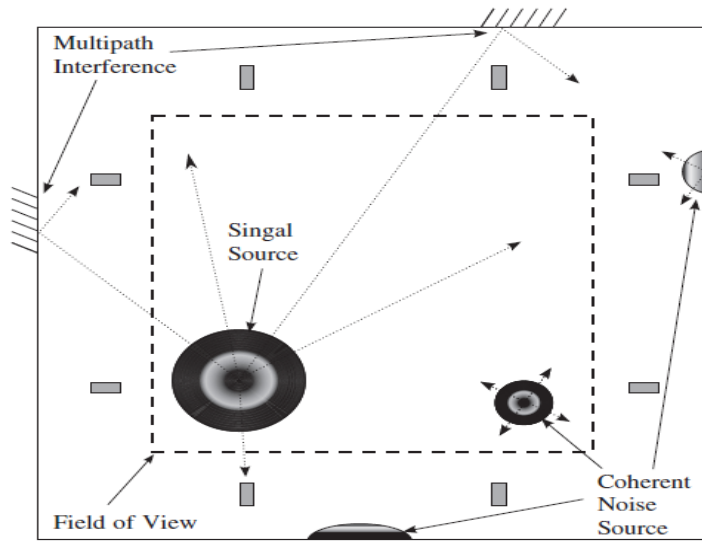
Şekil 2.26. Konuşma tanıma sistemi yapılandırması.

Rodriguez ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada ses kaynağı ve alıcıların uzayda aynı yerde olmamasından dolayı mikrofon dizilerinde oluşan zaman farkını gidermeyi ve bunu bir avantaja dönüştürmeyi amaçlamışlardır. Bu süreç huzme şekillendirme olarak bilinmektedir. Bunda geleneksel yöntem mikrofonlara sesin ne kadar gecikme ile geldiğini hesaplamaktır. Şekil 2.27.'de bir sinusoid altı kanal lineer dizi gösterilmektedir. Ham sinyalde gürültü mevcuttur. Faz farkı sensörler arasında gecikme tarafından belirlenir daha sonra basit bir geometrik hesaplama ile üst üste toplanacak sinyaller bulunur. Ses ortalama 340 m/s ortalama hızla hareket eder. Sensörlerin arası çok kısa olduğu için zaman farkı düşüktür. Sesi sadece 10 cm taşımak 0,3 milisaniye sürer. Sadece iki kez en yüksek frekansta örnekleme yoluyla bir sinyal hakkında tüm bilgiler elde edilebilmektedir.



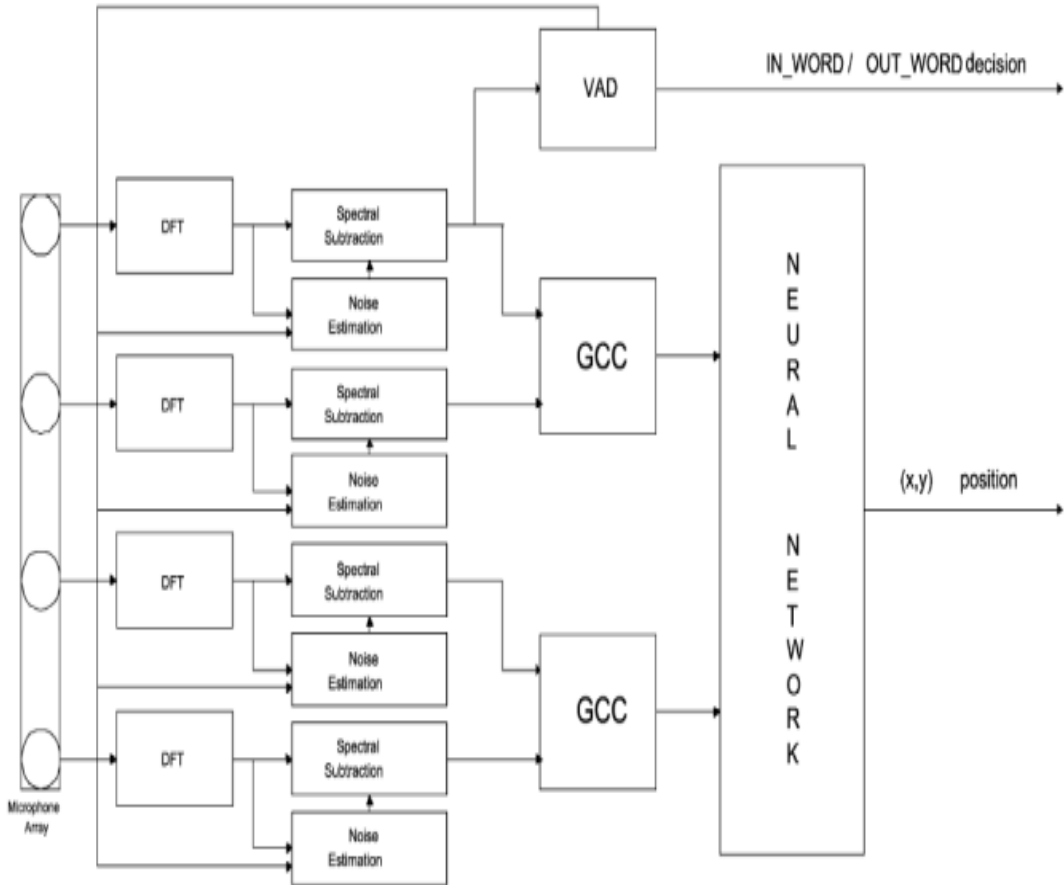
Şekil 2.27. Altı kanallı geciktir ve topla uygulaması.

Donohue ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada gürültülü ve yankılı ortamlarda performans faz ses kaynaklarını saptamak için mikrofon dizilerini kullanmışlardır. İnsan-bilgisayar etkileşiminde bu uygulamalar önemli bir yer tutmaktadır. Uygulamada mikrofon ve ses kaynakları değişik yerlerde olmak üzere sinyal ve dizi modeli direk uygulama üzerinde denemiştir. Şekil 2.28.'de geliştirilen sistemin çevre faktörleri ile ilişkisi verilmiştir.



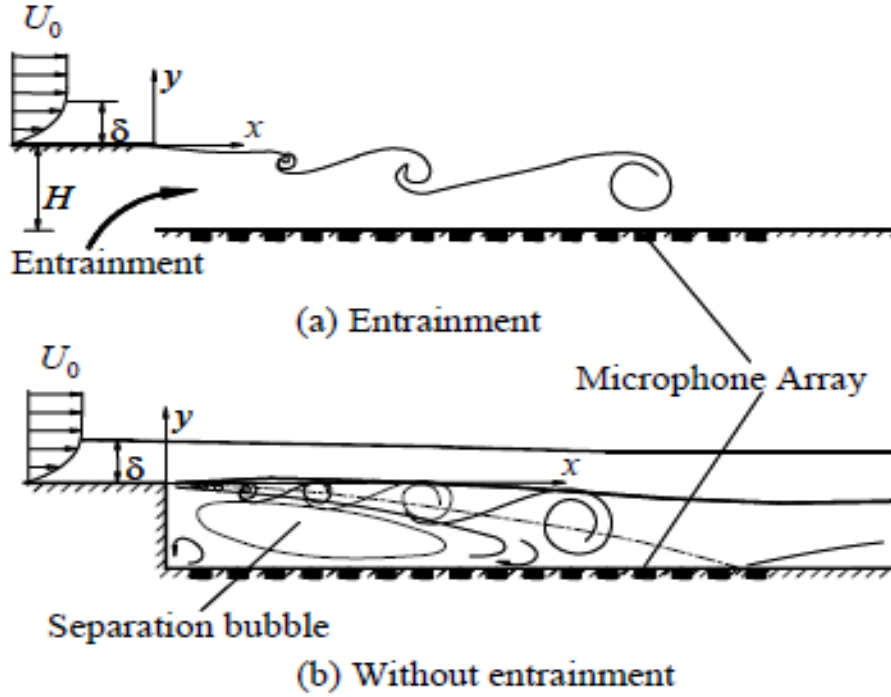
Şekil 2.28. Mikrofon sistemi ve çevre ilişkisi.

Mumolo ve ark. (2003) çalışmalarında hizmet robotlarının gerçek şartlarda çalışması için akustik kaynak lokalizasyonu algoritmalarının geliştirmişlerdir. Robot ile sözlü komutlarla iletişime geçildiği zaman bir operatör yerine dizi tabanlı bir algoritma ile çalışan mikروفon dizisi ile iletişim kurulur. Çevre harita bilgisini ve çarpışma sensörlerini de kullanarak bütünleşmiş bir sistem üzerinde çalışır. Bu tür bir çalışma günümüzde giderek önemini artıran akıllı bina uygulamalarında kullanılabilen bir parça olan özerk akustik algılama robotların geliştirilmesinde önemlidir. Böyle bir uygulamada robotun sesle yönlendirilebilir olması kadar çevre harita bilgisine sahip olması gibi ekstra yeteneklerle donatılması da gereklidir. Bunun için ultrasonik aralık sistemleri, kameralar, yakınlık sensörleri, akustik algı birlikte çalışmalıdır. Ancak bu sayede bir insanın yerini bir robot alabilir. Yapılan testler sonucunda çalışmadan iyi bir performans elde edilmiştir. Şekil 2.29.'da geliştirilen algoritmanın blok diyagramı verilmiştir.



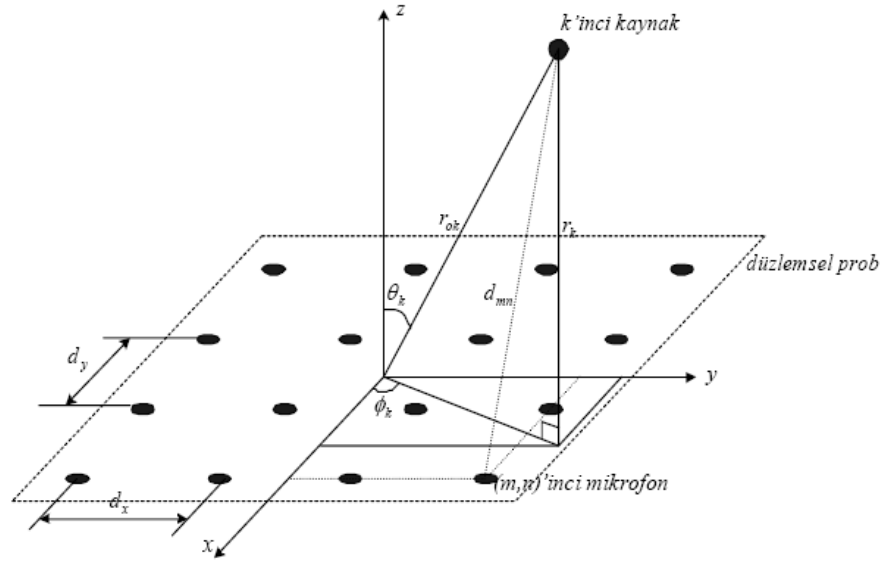
Şekil 2.29. Yapay zekâ tabanlı geliştirilen algoritmanın blok diyagramı.

Ke ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada yüzey üzerinde türbülanslı sınır tabaka akışlarını incelemişlerdir. Böyle bir çalışma klima sistemleri kızıl ötesi uygulamalarında kendine yer bulmaktadır. Şekil 2.30.'da geliştirilen sistem ve mikrofon dizilerini konumu verilmiştir.



Şekil 2.30. Türbülanslı akış şematik diyagramı ve mikrofon dizilerinin konumu.

Ergen ve Tatar (2005) yaptıkları çalışmada kalp sesleri dizi işaret işleme yöntemleri ile analiz edilerek, sesleri üreten kaynakların yerlerinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Ses verilerini, kalbi bölgesini örten göğüs duvarı üzerine yerleştirilmiş bir düzlemsel mikrofon dizisi yardımı farklı noktalardan almışlar. Dizi işaret işleme yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntülerde, mekanik hareketi ile akustik titreşimlere neden olan kalp dokularını işaret eden sonuçlar elde edilmiş. Bir kardiyak periyodundaki dört safha için yapılan kestirimlerde, sistol ve diastol aralıkları için elde edilen görüntüler, bu aralıktaki seslerin birinci ve ikinci kalp seslerine göre daha geniş bir alanda oluştuğunu ortaya koymuştur. Görüntülerdeki farklılıklar, hastalarda oluşabilecek anormal seslere neden olan kalp dokusunu işaret eden görüntüler elde edilebileceğini göstermektedir. Şekil 2.31.'de bir ses kaynağı için yakın alan işaret model geometrisi verilmiştir.

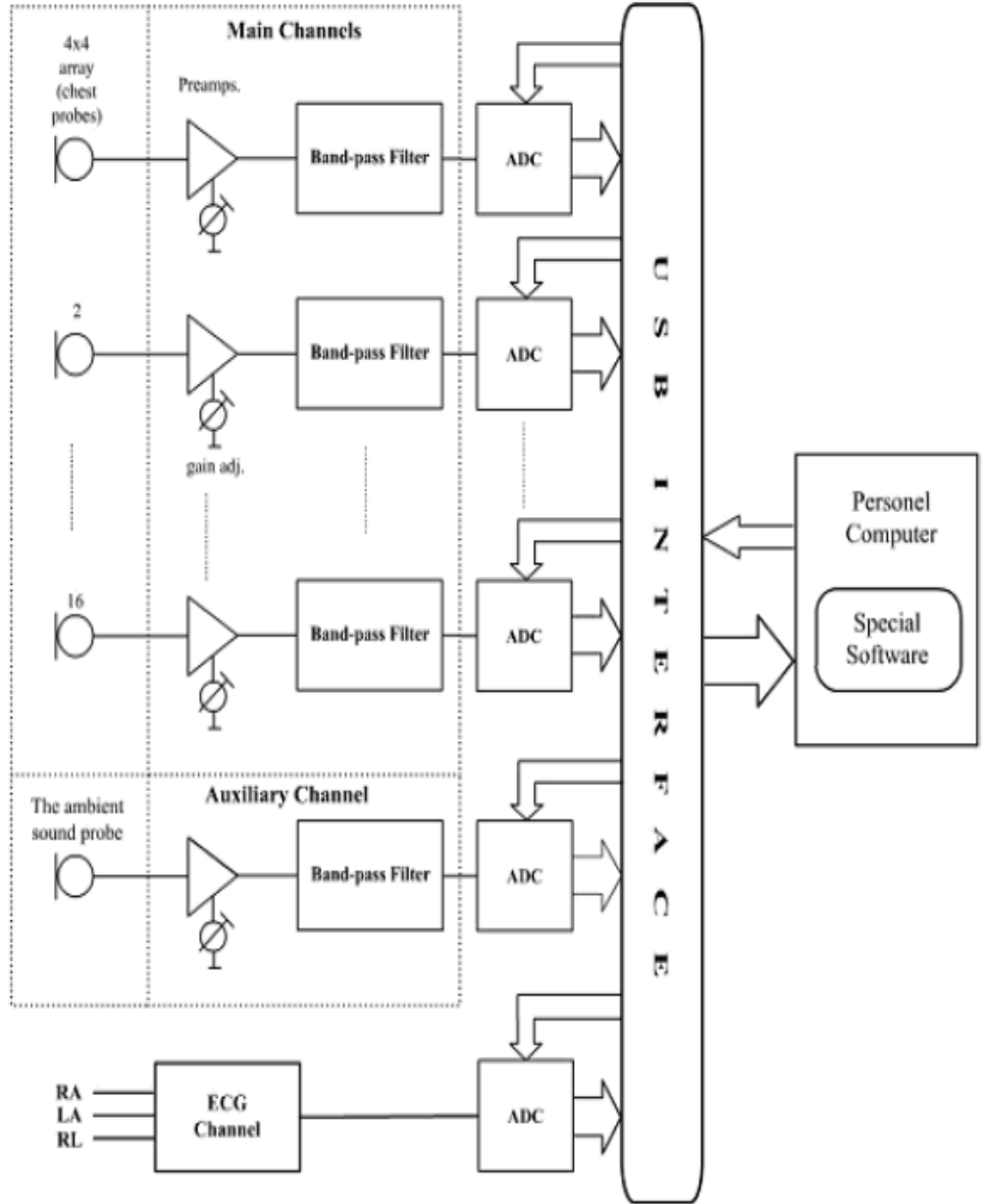


Şekil 2.31. Bir ses kaynağı için yakın alan işaret model geometrisi.

Civelek (2005) yaptığı çalışmada kalp seslerinin kalbin işleyişi hakkında önemli bilgiler içerdiğini göz önüne alarak, kalp seslerinin dinlenmesi ile kalp bozukluklarına tanıda bulunabilecek bir donanım geliştirmiştir. Fonokardiyografi (FKG) olarak adlandırılan kalp seslerinin tek boyutlu gösterimi bu teşhisleri kolaylaştırmak için kullanılır. FKG ucuz olmayan bir tanı aracı olmasına rağmen, yararlılıklarının sınırlı oluşu nedeniyle ve Ultrasonografi, CT ve MRI teknolojilerindeki kayda değer ilerlemelerden dolayı son zamanlara kadar ihmal edilmiştir.

Bu çalışmada, yeni, kullanımı kolay ve taşınabilir bir donanım geliştirildi. Yeni sistem (CARDIOPAL II) mevcut birçok işletim sistemi üzerinde sorunsuz çalışabilmekte ve daha yüksek çözünürlüklü imgeler elde edebilmek için daha nitelikli veri yakalayabilmektedir. Sistemde bir EKG kanalı vardır ve EKG işaretlerinin ses işaretleri ile eşzamanlı olarak yakalanması sağlanmıştır. Buna ek olarak, düzgün olmayan göğüslere mikrofon dizisinin tam olarak oturmasını sağlamak için esnek bir mikrofon dizisi geliştirilmiştir. CARDIOPAL II aküden güç almaktadır. Sistemi, küçük, hafif ve elektromanyetik girişimlere karşı daha dayanıklı yapabilmek için bütün elektronik aksamda yüzey montajlı devre teknolojisi kullanılmıştır. Noktasal iki kaynaktan gelen sesler kullanılarak cihaz test edilmiştir. Sistem bu iki kaynağın yerlerini tespit etmeyi başarmıştır. Cihaz ayrıca, gerçek deneklerden veriler alınarak da

test edilmiştir. Köşedeki mikrofonlardan gelen seslerde, mikrofon dizisinin düzgün olmayan göğüslere tam olarak oturamamasından kaynaklanan bir kayıp gözlemlenmemiştir. EKG işaretleri ses işaretleriyle eşzamanlı olarak kaydedilmiş ve bu iki işaret arasındaki ilişkinin kuramda olduğu gibi elde edildiği gözlenmiştir.



Şekil 2.32. CARDIOPAL II donanımının blok diyagramı.

CARPODIL II donanımı için mikrofon dizisi geliştirirken şunlara dikkat edilmiştir:

- İnsan göğüs kafesine yerleşebilecek ufaklıkta.
- Esnek.

- Sıklığı iyi tasarlanmış. Sırasıyla 17 mm ve 51 mm sıklıkta mikrofon dizisi kullanılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Mikrofon

Ses, gaz, sıvı veya katı ortamlarda oluşan mekanik titreşimlerdir. Maddede oluşan titreşim maddenin esnekliğinden dolayı çevresindeki diğer maddelerde harekete neden olur. Mikrofonlar bu hareketi algırlar. Ses bir dalgadır ve zaman içerisinde boşlukta ilerler. Bu açıdan bakarsak üç çeşit akustik sinyal vardır:

1.Periyodik(continuous) sinyaller, zamanla tekrarlanır ve süreklidirler.

2.Rastgele(noise-like sound) sinyaller, periyodik değildir. Müzisyenlerin ve bilim adamlarının beyaz veya pembe gürültü dedikleri sinyallerdir.

3.Darbeler (impulse-like sound) sinyaller, zamana bağlı olarak tekrarlanmaz ama şekilleri bellidir.

Sinyal kaynaklarının yerlerinin belirlenmesi, hedefleme, konumlama, rota tayini gibi askeri sistemler başta olmak üzere doğal yaşamın incelenmesi, maden rezervlerinin tespiti gibi sivil uygulamalarda da etkin bir şekilde kullanılmaktadır. 2.Dünya savaşıyla birlikte önemi keşfedilen yön bulma konusu, kaydedilen gelişmelerle beraber günümüzde önemli bir kullanım alanına sahip olmuştur. Başlangıçta tek bir sinyalin konumunu belirleyebilen sistemler, alt uzay tekniklerinin geliştirilmesiyle birlikte aynı anda birden fazla sinyalin konumunu tespit edebilir hale gelmiştir.

Mikrofonlar sesi elektrik sinyallerine çeviren elektronik aletlerdir. Sesin elektriğe çevrilmesi, sesin havada yarattığı akustik dalgadan yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Mikrofonların yapısı, özelliği ve çalışma ilkesi nasıl olursa olsun, en önemli elemanları diyafram adı verilen esnek zar kısmıdır. Çünkü hava ortamında ilerleyen ses dalgalarının oluşturduğu basınç ilk önce mikrofonun diyaframını titreştirmektedir. Mikrofonlar, kullanılan diyafram arkasındaki yapıya göre türlere ayrılmaktadır: (Çontar, 2007), (Anonim).

- Kristalli mikrofonlar
- Piezoelektrik Seramik Mikrofonlar
- RF Elektrostatik Mikrofonlar
- Kondansatör (elektrostatik) mikrofonlar
- Dinamik (Manyetik, Hareketli) mikrofonlar

- Kapasitif mikrofonlar
- Karbon tozlu mikrofonlar
- **Elektret Mikrofonlar**
- Şeritli mikrofonlar

Karakterlerine göre mikrofonları Omni-directional, Bi-directional, Uni-directional olarak üç ana başlık altında inceleyebiliriz.

Her yöne (dairesel, Omni-directional) mikrofon karakteri, diyaframın her yönden gelen ses dalgalarını algılaması ile oluşur. Diyaframın algılama düzeyi ses dalgalarının diyaframa olan uzaklığına bağlıdır. Her ne kadar dairesel karaktere sahip bir mikrofonun diyaframı, ses dalgalarını her yönden eşit basınç düzeyinde algılaması gerektiği belirtilse de bu pratikte pek mümkün olmaz. Çünkü mikrofon çapıyla ses kaynağından çıkan frekansın dalga boyu arasında bir ilişki vardır. Eğer dairesel mikrofonun diyafram çapı dalga boyundan büyükse; mikrofona her açıdan gelen ses sinyali diyafram tarafından eşit ses basıncı olarak algılanacaktır.. Ancak dairesel mikrofonun çapı dalga boyundan küçükse; mikrofonun arkasından gelen ses sinyalleri önden gelen sinyallere göre zayıflama gösterecektir. Dairesel mikrofonları PA seslendirmeleri kullanımında olumsuz etkisi büyüktür. Dairesel alış biçimi nedeniyle bu tür mikrofonlar monitörlerden çıkan sinyalleri tekrar alacaktır. Buda geri besleme sonucunu doğurur.

Çift yöne (Bi-directional) karakterli mikrofonlarda mikrofonların mahfazaları diyaframa önden ve arkadan gelen sinyallere açık, yanlardan gelen sinyallere kapalı olarak tasarlanmıştır. Sekiz figür karakterde ortaya çıkan bir etki daha sonra tüm mikrofonlarda kullanılmaya başlamıştır. Bu etkiye “proximity effect” adı verilir. Bu etkiye göre ses kaynağı mikrofona yaklaştıkça mikrofon diyaframının arka tarafından da ses dalgaları diyaframı harekete geçirir. Arkadaki ses dalgaları, önden gelenlerin diyaframa olan her 4cm. uzaklığına karşı 0.1ms’lik gecikmeye uğrar. Böylece diyaframın önü ile arkası arasında bir faz farkı yaratılır. Bu fark ise bas seslerin oluşmasını sağlar.

Bir yöne (Uni-directional) mikrofonlarda proximity effect□i yakalayabilmek için diyaframın hemen arkasına akustik dolambaç olarak adlandırılan bir düzenek konur. Bu düzeneğin hemen arkasına bir ya da birkaç delik açılır. Ses kaynağından çıkan sinyalin büyük çoğunluğu diyaframa önden çarparken yansıyan ya da diyaframa çarpmayan

sinyaller bu deliklerden geçer. Akustik dolambaçtan geçen sinyal, ortalama 0.1ms geciktirilerek diyaframın tam arkasına çarptırılır. Böylece ters yöne de titreşerek küçük bir faz farkı oluşur. Yapılan bu işleme faz değiştirme denir.

3.1.1.Kristal Mikrofonlar

Kristal mikrofonun birinci tipi hücre tipi diğeri de diyafram tipi mikrofondur. Hücre tipi mikrofondaki kristal eleman olarak Roşella-tuzu kullanılmıştır. Bu mikrofonun ses dalgaları iki yönden de gelmektedir. Ses dalgalarının etkisiyle kristal eleman bükülür, bu bükülmenin sonunda kristal eleman uçlarında elektriksel gerilim oluşur.

Ses basıncı etkisiyle diyafram kristal elemanı bükülmektedir. Kristal mikrofonun üstünlüğü yüksek çıkış gerilimi vermesidir.

Roşella tuzundan yapılan mikrofon nemden çok etkilenir. Hücre tipi mikrofondaki ise her iki yanına nem geçirmeyen membran konmuştur.

Kristal mikrofonları ancak tek yönlü kullanabilirsiniz. Zira kristal mikrofondan normal bir çıkış alabilmek için ses kaynağının mikrofonu çok yakın olması gerekir.

3.1.2. Piezoelektrik Seramik Mikrofonlar

Kristal mikrofonu benzer. Seramikleri elde yapılır. Diyaframa tutturulan piezoelektrik özelliğe sahip seramik eleman diyafram hareket ettikçe uçlarında elektriksel gerilim oluşturur.

3.1.3. RF Elektrostatik Mikrofon

RF (radio frekansı) elektrostatik mikrofonlar, kapasitif mikrofonun çıkışına yerleştirilmiş olan osilatör sayesinde, sinyale modülasyon uygulayan mikrofonlardır. Böylece mikrofon telsiz özelliğini alır ve bu isimle adlandırılır. Aslında sistem FM (frekans modülasyonu) çevirici ve alıcısı yöntemiyle çalışır. Mikrofondan çıkmak üzere olan ses sinyali osilatör tarafından üretilen ortalama 8MHz'lik bir sinyal ile modüle

edilir ve alıcıya gönderilir. Alıcı modüle edilen sinyali alır ve osilatörün ürettiği sinyali atarak mikrofon sinyalini işlemek üzere ilgili audio ekipmanlara iletir.

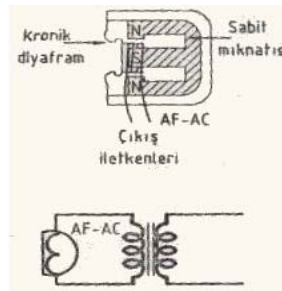
3.1.4. Kondansatör Mikrofonlar

Diyafram uygulanan ses basıncı ile orantılı hareket etmektedir. Diyafram hareketi küçüktür. Diyafram çapı 40mm kalınlığı 25 ile 50 mikron arasındadır. 48 volt harici beslemeyle çalışır. Günümüz radyo-tv yayıncılığında en çok tutulan mikrofon tipidir. Ses dalgalarına olan duyarlılığı dinamik mikrofonlara göre çok daha fazladır.

3.1.5. Dinamik (Manyetik, Hareketli) mikrofonlar

Tercih edilen bir mikrofon türüdür. Dinamik mikrofonlar kullanım sırasında, elektriksel alandan uzak tutulmalıdır. Dinamik mikrofonlar ve kapasitif mikrofonlar gibi hassas yapıları mikrofonlar, dikey tutuldukları, yani mikrofon ağzı yatay olduğu takdirde veya belirli bir ortamdan alış yapılacaksa, o ortama yönelik tutulduğunda her yönden gelebilecek sesleri alabilecektir. Şu özelliklere sahiptir:

1. Sağlam yapılı, küçük, hafif ve oldukça iyi sayılabilecek 60-10000Hz gibi bir frekans karakteristiğine sahiptir.
2. Maliyeti de düşüktür.
3. Çalışması için ayrıca bir gerilim kaynağına ihtiyaç duymadığından oldukça geniş bir kullanım alanı vardır.
4. Güçlü çıkış verir.
5. Güçlü çıkışına rağmen sadakati (fidelity), yani ses frekansını takibi o kadar iyi değildir.



Şekil 3.1. Dinamik mikrofon kesiti ve empedans uygunlaştırıcı transistör.

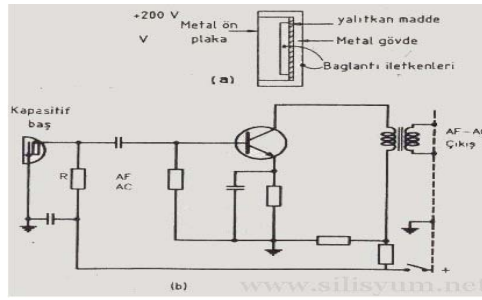
3.1.6.Kapasitif Mikrofonlar

Başlıca üstünlükleri şunlardır:

1. 50 - 15000 Hz arasında oldukça geniş bir frekans karakteristiği vardır.
2. Distorsiyon azdır.
3. Empedansı büyüktür. (10 - 50 M Ω)

Bu özelliklere karşın kullanımında dikkat edilmesi gereken iki temel dezavantajı vardır:

1. Diğer mikrofonlardan farklı olarak, bir besleme kaynağına ihtiyacı vardır.
2. Yükselteç ile mikrofon arası kablonun kapasitif etkisi mikrofon kapasitesini etkileyerek parazite neden olur. Bu etkiyi azaltmak amacıyla mikrofon içersine bir yükselteç konması gerekir.

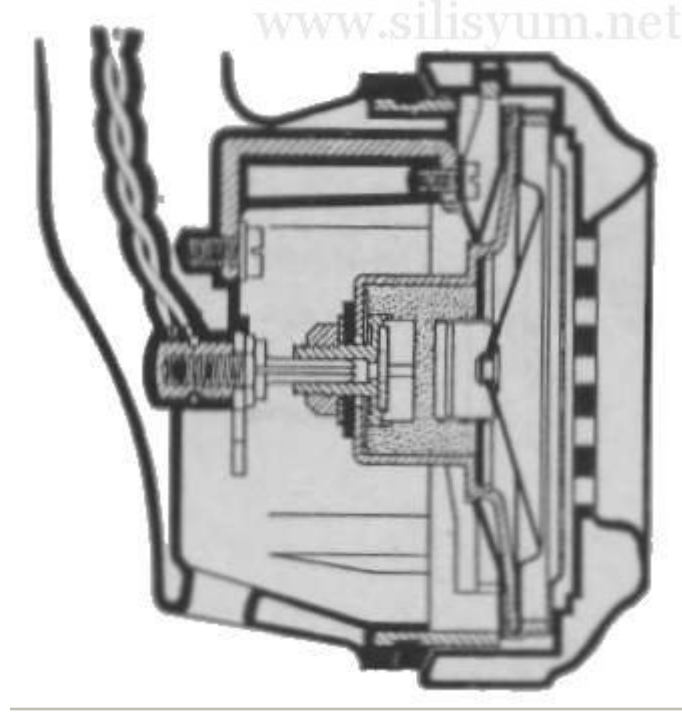


Şekil 3.2. Kapasitif mikrofonun yapısı ve yükselteç devresi

3.1.7.Karbon tozlu Mikrofonlar

Karbon mikrofonlar, bir kapsül içersine doldurulan kömür tozlarından oluşmaktadır. Kapsül, diyaframa bağlı hareketli bir kapak ile kapatılmıştır. Diyafram ses basıncı ile titreştikçe, kömür tozlarını sıkıştırıp gevşetir. Kömür tozları sıkışınca direnci küçülür, gevşeyince büyür. Böylece ön yükselteç "beyaz" akımı artıp eksilir. Ve gerekli yükseltme sağlanır. Empedansları çok küçüktür (50 Ω civarında). Bunların ön yükselteç empedansına uyum sağlayabilmesi için, ön yükselteçlerin beyzi ortak yapılmalıdır. Bu durumda da akım kazancı düşmektedir.

Kömür tozlarının zamanla tortulaşarak özelliklerini yitirmeleri nedeniyle de, bugün kullanımı tercih edilmemektedir. Bununla beraber, birçok telefonun mikrofon kapsülü, halende karbonlu mikrofon yapısındadır



Şekil 3.3. Karbon tozlu mikrofon.

3.1.8. Elektret Mikrofonlar

Kristal mikrofon benzeri yeni bir tip mikrofondur. Rondela şeklindeki, ince bir yarı iletken maddenin iki yüzü, elektrostatik bir yöntemle, moleküler bir aranjman yapılarak pozitif (+) ve negatif (-) olarak yüklenir. Bu yarı iletkenin en büyük özelliği, elektrik yüklerini sürekli korumasıdır. Bu tür yarı iletkenlere elektret (electret) adı verilmiştir.

Elektret kapsül, kristal mikrofonlardakine benzer bir yöntemle diyaframa bağlanmaktadır. Diyafram titreştiğinde, titreşen elektret kapsülünün moleküler yapısı değişmektedir. Bu değişim sonunda da iki yüzündeki elektrotlar arasında bir AF-AC gerilimi oluşmaktadır.

Elektrot gerilimi, bir ses frekansı yükselticine verilerek kuvvetlendirilir. Elektret mikrofonda yüksek dirençli bir mikrofon olup, burada da yüksek frekanslı

mikrofonlarda uyulması gereken kurallara uyularak blendajlı kablo kullanılmalı ve kablonun boyu fazla uzun olmamalıdır.

Elektret mikrofonların başlıca özellikleri:

1. Yapımı kolay ve ucuzdur.
2. Frekans karakteristiği geniş ve düzdür.
3. Küçük boyutlu olduğundan kullanımı kolaydır. (Örneğin yakaya takılabilmektedir).
4. Önlem alındığında distorsiyonsuz bir çıkış yapılabilir.
5. En iyi özelliklerinden biri de, özel besleme gerilimine gerek bulunmamasıdır.



Şekil 3.4. Elektret mikrofonun parçaları.

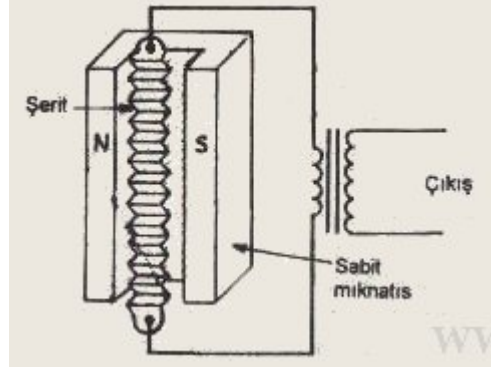


Şekil 3.5. Elektret mikrofon.

3.1.9. Şeritli Mikrofonlar

Şeritli (Ribbon) mikrofonlar da dinamik mikrofonlar gibi, sabit mıknatısın magnetik alan etkisinden yararlanılarak geliştirilmişlerdir. Bir sabit mıknatısın iki kutbu arasına bir alüminyum şerit yerleştirilerek iki ucundan çıkış alınmıştır. Ses bobini ile ileri-geri titreşen Alüminyum şeridin magnetik alan çizgilerini kesmesi sonucu iki ucu arasında bir AC gerilim oluşmaktadır.

İki yönden gelen sesleri almak için, en uygun mikrofon şeritli mikrofondur. Çünkü şeridin ortasında bulunduğu U şeklindeki sabit mıknatısın yapısı iki yönden de gelen sesleri almaya uygundur. Böyle bir özel amaç için mikrofonun dış yapısının da ona göre hazırlanması gerekir.



Şekil 3.6. Şeritli mikrofon.

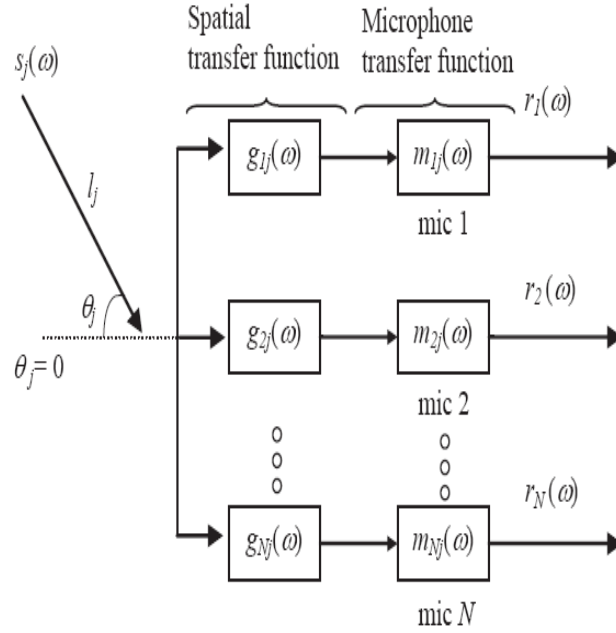
3.2.Mikrofon Dizisi

Mikrofon dizisi sisteminin çalışma ilkesini anlamak için aşağıda verilen benzetim faydalı olacaktır. Bir insan, gözlerini kapattığında etrafında konuşarak hareket eden bir başkasının konumunu, hareket eden kişinin sesi sayesinde belirleyebilir. Bu konum tespiti için insan beyni, iki kulağına ulaşan ses işaretinin birbirine göre gecikmesini ve alınan ses seviyesini kullanarak sesin hangi yönden geldiğine karar verir. Bu sayede insan beyni, istediği yönde gelen sesi diğerlerinden ayırt ederek, gürültülü bir ortamda istenilen sesin dinlenebilmesine olanak sağlamaktadır. (Hacıvelioğlu, 2005).

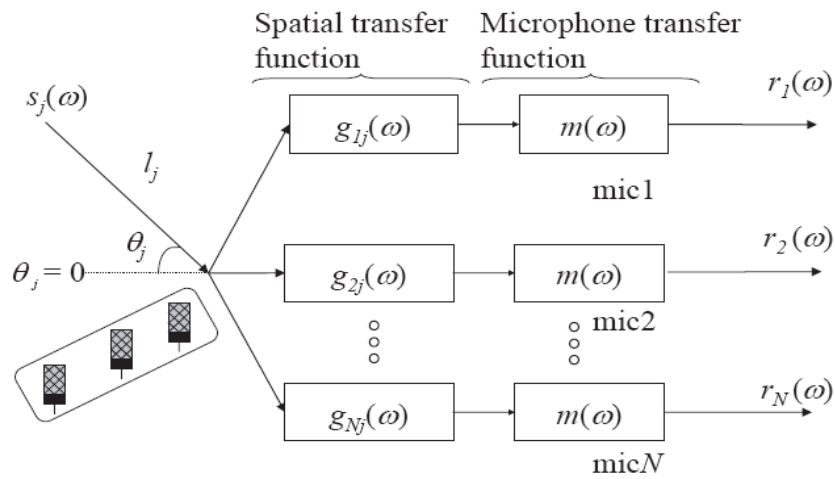
Mikrofon dizisi ses kaynağının konumunun bulunması, çok konuşmacılı ortamlarda yönlendirilme yapılması, sesteki gürültünün temizlenmesi, ses tanıma sistemleri gibi alanlarda kendisine yer bulmaktadır.

Mikrofon dizisi, eş zamanlı çalışan, geometrik olarak farklı noktalara yerleştirilmiş birden fazla mikrofondan oluşan yapılardır. Mikrofonları çizgi, kare, daire gibi değişik şekillerde yerleştirmek mümkündür. Hangi şekil kullanılırsa kullanılsın mikrofonlar arasındaki mesafe, esnek tasarım, kullanım alanına göre uygun mikrofon seçimi önemlidir (Civelek, 2005). Demetleme mikrofon dizilerinde farklı

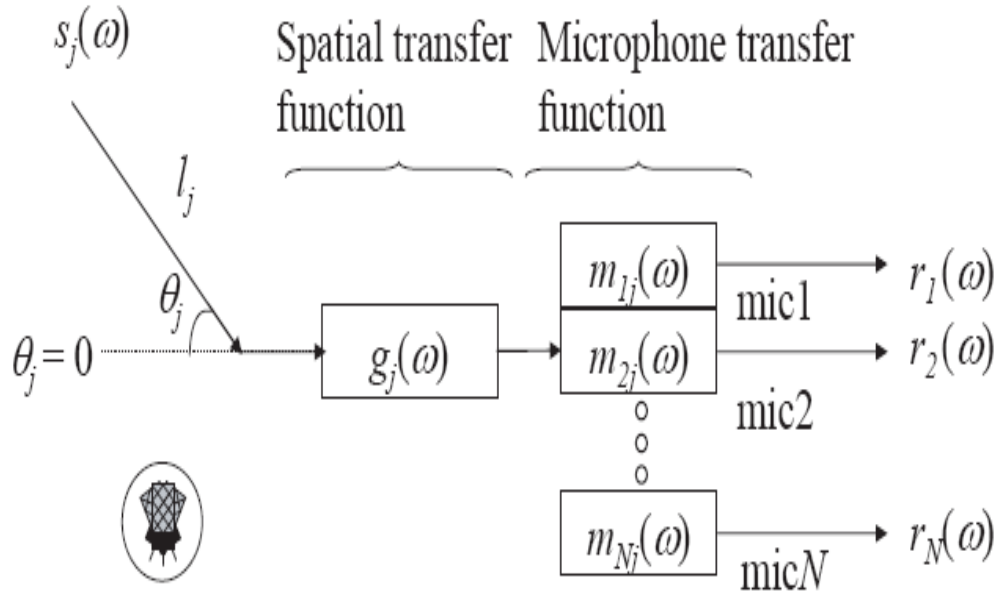
mikrofonlardan alınan ses sinyallerine uygun gecikme oranları uygulanarak üst üste toplanması ile daha kaliteli bir ses sinyali elde etme işlemine verilen addır. Mikrofon dizileri ile demetleme yapabilmek için ses kaynağının yerinin biliniyor olması gerekir. Mikrofon dizilerini kullanım şekillerine göre N mikrofon sistemleri, FMD sistemleri, birleştirilmiş mikrofon sistemleri olarak üç ana grupta toplayabiliriz. Bu üç farklı tasarım karakteristik olarak farklılık göstermektedirler (Matsumoto, 2006).



Şekil 3.7. Matsumoto (2006) tarafından geliştirilen N mikrofon sistemi problem formülasyonu.



Şekil 3.8. Matsumoto (2006) tarafından geliştirilen FMD sistemi problem formülasyonu.



Şekil 3.9. Matsumoto (2006) tarafından geliştirilen birleştirilmiş mikrofon formülasyonu.

Denklem 3.1. N mikrofondan oluşan bir ses sisteminin i.mikrofonun transfer fonksiyonunu şu şekilde tanımlanır ($i=0, 1, \dots, N$). Hemen bunu izleyen denklem 3.2.'de ise iki boyutlu bir düzlem (x,y) göz önüne alınır. seçilen (orthogonal) koordinat sistemde kaynaktan ölçülen yön θ , uzaklık l ölçülür.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (3.1.)$$

$$l = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3.2.)$$

FMD ile toplu mikrofonlar arasındaki farkı ortaya çıkarmak için bu bölümde tek bir ses olduğunu ve yansıma olmadığını farz ederek işlem yapacağız. Bir sesin $S_j(\omega)$ kaynağa göre $C_j = (X_j, Y_j)$ pozisyonuna nerede olduğunu bulmak için:

$$X_j = l_j \cos(\theta_j) \quad (3.3.a.)$$

$$Y_j = l_j \sin(\theta_j) \quad (3.3.b)$$

ω açısal frekansı temsil eder. j ise izleyen bölümlerle tutarlı olmalıdır. Şekil 3.1.'de $g_{ij}(\omega), i = 1, 2, \dots, N$, pozisyonu $c_i = (x_i, y_j)$ ve konumu ω olan i . mikrofonun istikameti θ_j , uzaklığı l_j iken mekansal (spatial) transfer fonksiyonunu temsil eder. N mikrofon sayısını ve açısal frekansı temsil eder. $m_{ij}(\omega)$ ω açısal frekansta ve istikameti θ_j olan i . mikrofonun transfer fonksiyonudur. Şekil 3.1.'e göre i .mikrofona sinyal uzaklığı $r_i(\omega)$ aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$r_i(\omega) = m_{ij}(\omega)g_{ij}(\omega)s_j(\omega)(i = 1, 2, \dots, N) \quad (3.4.)$$

Şekil 3.2. de FMD'nin karakteristiği ve Şekil 3.3. birleştirilmiş mikrofon dizilerinin karakteristik yapısı verilmiştir. FMD, bütün sinyal gönderen mikrofonların transfer fonksiyonu $m_{ij}(\omega)$ olur. FMD'nde mikrofonlar mekansal transfer fonksiyonunda $g_{ij}(\omega)$ değişik pozisyonlarda dizilir. Diğer taraftan birleştirilmiş mikrofon dizilerinde mikrofonlardan değişik transfer fonksiyonları elde etmek için yönlendirmeli mikrofon kullanırız. Eğer tüm mikrofonlar nerede ise aynı şekilde yerleştirildi ise spatial transfer fonksiyonunu $g_{ij}(\omega)$ sabit alınabilir. Bu nedenle değişik transfer fonksiyonları kullanarak mikrofonların $gm_{ij}(\omega)$ sesini azaltmak mekansal transfer fonksiyonu olmadan başarılabilir.

FMD genel model Şekil 3.4.'de verilmiştir. O orijini temsil etmektedir. Genel olarak FMD şartları aşağıda verilmiştir:

- Pozisyon farklılığı: Tüm mikrofonlar farklı pozisyonlara yerleştirilmiştir.

$$\forall i, j, c_i \neq c_j (i, j = 1, 2, \dots, N, i \neq j) \quad (3.5.)$$

- Bütün yönler için mikrofon: Mikrofonların yerleşimi tüm açılarda aynı.

$$\forall i, m_{ij}(\omega) = m(\omega) : \text{özdeşdir } \theta_j (i = 1, 2, \dots, N) \quad (3.6.)$$

Bu durum altında eğer ses açığı frekansı ile karmaşık sinüzoidal dalga ifade ediyorsa, formül 3.4. aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenebilir:

$$g_{ij}(\omega) = \exp(-j\omega T_{ij})g_j(\omega) \quad (3.7.)$$

j . sesin kaynağı i . mikrofona gelince zaman gecikmesi T_{ij} . $g_j(\omega)$ ses kaynağından C_j 0'a spatial transfer fonksiyonunu temsil eder. i . mikrofondan $r_i(\omega)$ alınan ses şu şekilde ifade edilebilir:

$$r_i(\omega) = \exp(-j\omega T_{ij})m_{ij}(\omega)g_{ij}(\omega)S_j(\omega) \quad (3.8.)$$

Denklem 3.4.'e göre $r_i(\omega)$ aşağıdaki gibi olabilir:

$$r_i(\omega) = \exp(-j\omega T_{ij})m_i(\omega)g_j(\omega)S_j(\omega) \quad (3.9.)$$

FMD, mikrofonların transfer fonksiyonuna etkisi genellikle ihmal edilir. Çünkü bu sadeleştirme, m_ω çoklukla 1 farz edilir. Bundan dolayı i . mikrofondan alınan sinyal faz dizisi $r_i(\omega)$ aşağıdaki gibi olabilir:

$$r_i(\omega) = \exp(-j\omega T_{ij})S'_j(\omega) \quad (3.10.)$$

Burada Denklem 3.10.'i açıklarsak:

$$S'_j(\omega) = g_j(\omega)S_j(\omega) \quad (3.11.)$$

Sesin 0 kaynağını temsil eder. Alınan sesin vektörü aşağıdaki gibi olabilir:

$$\begin{aligned} r(\omega) &= [r_1(\omega), r_2(\omega), \dots, r_N(\omega)] \\ &= [\exp(-j\omega T_{1j})S'_j(\omega), \exp(-j\omega T_{2j})S'_j(\omega), \dots, \exp(-j\omega T_{Nj})S'_j(\omega)] \\ &= ds'_j(\omega) \end{aligned} \quad (3.12.)$$

Burada Denklem 3.12.'yi açıklarsak:

$$d = [\exp(-j\omega T_{1j}), \exp(-j\omega T_{2j}), \dots, \exp(-j\omega T_{Nj})] \quad (3.13.)$$

ve $[\]^T$ transpozu temsil eder. Mekansal (Spatial) transfer fonksiyonu $g_j(\omega)$ ve ses kaynağı $S_j(\omega)$ 'ye göre bağımsız olarak $\exp(-j\omega T_{ij})$ dikkate alınmalıdır. Bu ilişki ses kaynağı pozisyonu ve i. mikrofonun pozisyonu ile bağıntılıdır. $g_j(\omega)$ ve $S_j(\omega)$ tüm mikrofonlar için ortaktır. $\exp(-j\omega T_{ij})$ fonksiyonunun karakteristiği i. mikrofonun pozisyon değişikliğini yönetebilir. FMD, ses kaynağının pozisyonu ve her bir mikrofonun pozisyonuna göre sesteki düşme ile geliş yönünün farkına varabilir.

Birleştirilmiş mikrofon sistemlerinde N adet mikrofon O kaynağına göre yerleştirilir. Mikrofonlar, birleştirilmiş mikrofonlardaki ufak yön farkından yararlanılarak kullanılır. Bu mikrofon modeli Şekil 3.5.'de verilmiştir. Hazırlanan bu sistemde sesin dalga boyu daha kısadır çünkü N mikrofonlar yerleşimleri avantajlıdır. $r_i(\omega)$ aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} r_i(\omega) &= m_{ij}(\omega)g_j(\omega)S_j(\omega) \\ &= m_{ij}(\omega)S'_j(\omega) \end{aligned} \quad (3.14.)$$

Alınan ses $r(\omega)$ vektörü aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} r(\omega) &= [r_1(\omega), r_2(\omega), \dots, r_N(\omega)]^T \\ &= [m_{1j}(\omega)S'_j(\omega), m_{2j}(\omega)S'_j(\omega), \dots, m_{Nj}(\omega)S'_j(\omega)]^T \\ &= m_i S'_{j(\omega)} \end{aligned} \quad (3.15.)$$

Burada Denklem 3.15.'i açıklarsak:

$$m_i = [m_{1j}(\omega), m_{2j}(\omega), \dots, m_{Nj}(\omega)]^T \quad (3.16.)$$

Eğer yönlü mikrofon kullanıyor isek, mikrofon dizisine benzer oluşturabiliriz. Denklem 3.12. ve denklem 3.15. benzer sistemlerdir. Denklem 3.12. içerisindeki $\exp(-j\omega T_{ij})$

diğer tarafta $m_{ij}(\omega)$ yerine geçer. Bu bazı teorik FMD çatılar için önerilen bir metottur. Biz bu farklılığı mikrofonları topladığımızda her mikrofonun spatial transfer fonksiyonunda fark edebiliriz. Bu metot için aşağıdaki koşullar gereklidir:

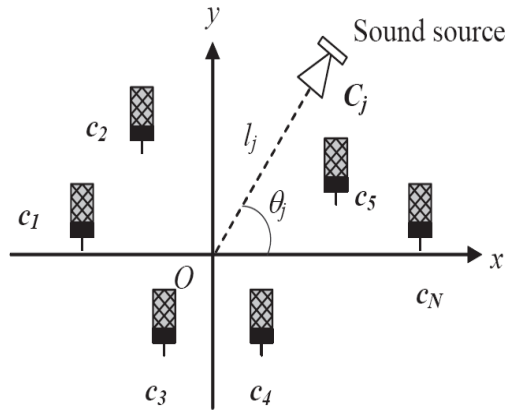
- Mikrofonların transfer fonksiyonu her yönde sıfırdan farklıdır.

$$\forall \theta, m_{ij}(\omega) \neq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (3.17.)$$

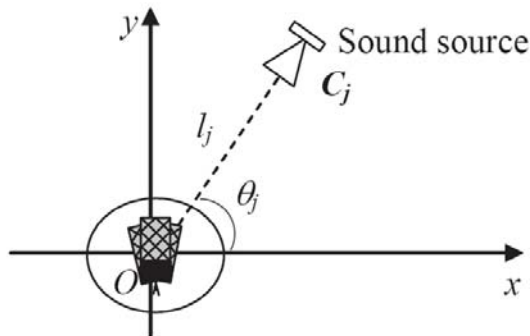
- Yönden bağımsızlık: mikrofonların transfer fonksiyonu oranı her yönde farklıdır.

$$\forall \theta_i, m_i \neq \alpha m_j \quad (i, j = 1, 2, \dots, N, \theta_i \neq \theta_j) \quad (3.18.)$$

Fonksiyon 3.17. ve fonksiyon 3.18.'in uygunluk şartları için tüm mikrofonların mikrofon transfer fonksiyonuna $m_{ij}(\omega)$ farklılaştırma gereklidir. Bu şart kolayca sağlanabilir. $m_{ij}(\omega)$ gerçek sayı değil, karmaşık sayıdır.



Şekil 3.10. MATSUMOTO (2006) tarafından geliştirilen FMD genel modeli.



Şekil 3.11. Matsumoto (2006) tarafından geliştirilen birleştirilmiş mikrofon modeli.

Alt uzay tekniklerinde FMD verilerinin ilinti matrisi öz değer vektörlerine ayrılarak işaret ve gürültü bileşenlerini belirleyip bu vektörleri kullanarak yön tayini yapılmaktadır. Bu yöntemlerin dezavantajı ise eldeki sinyal verileri ilintili ise yanlış yön tayini yapılabilmesidir. Bunun üstesinden gelebilmek için mekansal ortalama tekniği kullanılmaya başlanmıştır. 1990'lı yılların sonuna doğru ise “zaman frekans dağılımları” ve uyarlamalı yöntemler giderek daha etkin hale gelmiştir.

Yön bulma probleminde dikkat edilmesi gereken birkaç önemli husus vardır. Bunlar; uygun dizi yapısı ve algılayıcı geometrisinin seçimi ile algılayıcıların yapısıdır. Ayrıca uygun metodun seçilmesi de çok önemlidir. Değişik kombinasyonlar üzerine yapılan birçok çalışma vardır, bu da yön bulma probleminin karmaşıklığını kanıtlamaktadır.

3.3.Algoritma

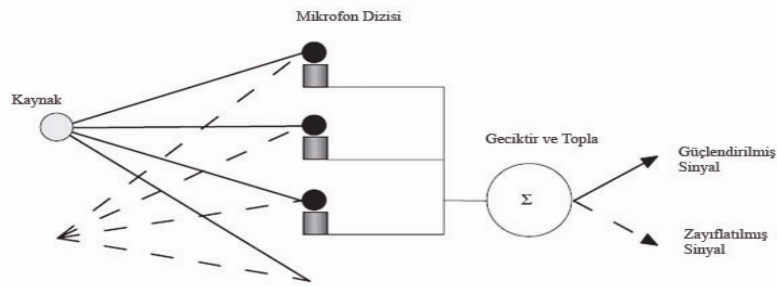
FMD sinyal kaynağının bulunmasında geciktir ve topla kullanılabileceği gibi MUSIC, Root-MUSIC, ESPRIT algoritmalarını da kullanmak mümkündür. Bu algoritmalar incelendikten sonra kullanım kolaylığından dolayı uygulamalarda geciktir ve topla tercih edilmiştir.

3.3.1. Geciktir ve Topla Algoritması

Bu yöntemde sinyal yönünü bulabilmek için mikrofon dizilerinden alınan toplam sinyallere ait en büyük değer alınmaktadır. Geciktir ve Topla ses tanımada uygulamalarında kullanılması basitliğinden dolayı ve kolayca düzeltmeler yapılabilir olmasından dolayı cazip bir yöntemdir (Font, 2005). FMD işaret işlemede gecikme önemli bir rol oynar. FMD gelen ses sinyali kaynaktan çıktıktan sonra iki önemli değişiklik geçirir. Bunlar zaman gecikmesi ve tipik bir frekans bağımlı zayıflamadır (Tamai ve ark., 2004).

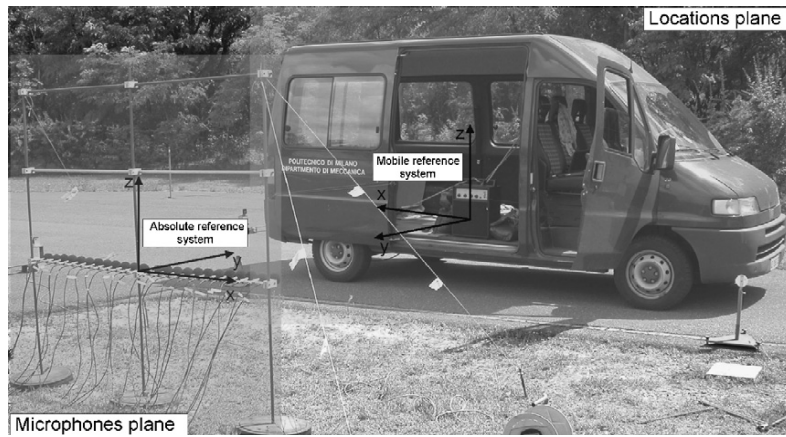
Geciktir ve Topla algoritmasında t_e zamanda elde edilen ses dalgası kaynaktan R mesafesinde bir gözlemci tarafından algılanır. Sesin üretimi ve algılanması arasında bir gecikme vardır. c 'nin sesin hızı olduğu durumda $\Delta t = R/c$ şeklinde ifade edilir.

Şekil 3.6.'da verildiği gibi aynı sinyalin genliğinde düşme olur bu da lineer olarak düşünülebilir. Her zaman için verilen gerçek kaynağı bildiğimiz zaman, yani ses ne zaman hangi kaynaktan çıkmış biliniyor ise uygun bir gecikme ve genlik ayarlaması yapılarak orijinal sinyali tekrar oluşturmak mümkündür. Kaynak bilinmiyor ise yukarıdaki plan kaynağın yerini bulmak için bir yöntem olarak kullanılabilir. Buna da Geciktir ve Topla denir (Cigada ve ark., 2007).



Şekil 3.12. Cigada ve ark. (2007) tarafından kullanılan geciktir ve topla algoritmasının temel yapısı

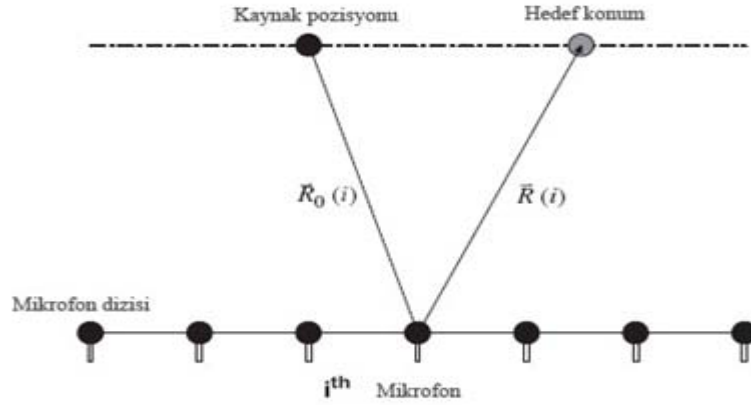
Bu metot birçok akustik ölçümle başlar ve sonrasında sinyaller birleştirilir ki buna topla deniyor. Birleştirme esnasında farklı akustik yolları göz önünde bulundurarak dalgalar birleştirilir. Pratikte bu metot bir alanı tarar ve her bir alandaki nokta için akustik basınç haritası verir. Eğer odaklanılan nokta doğru kaynak noktası ise işlenen sinyaller uygun kaynak kuvvetinde birleştirilir. Doğru kaynak noktası değilse yanlış bir dalga ortaya çıkar.



Şekil 3.13. Cigada ve ark. (2007) tarafından tasarlanan FMD ses kaynağı referans noktasına göre mikrofon dizilerinin konumu ve mutlak referans noktası.

Şekil 3.7.'ye göre mutlak referans noktasına lineer FMD, ses kaynağı referans noktasına da ses üreten kaynak yerleştirilmiştir. Saf sinyali yayan kaynak nokta, mikrofon ve kaynak nokta arasındaki mesafe göz önüne alındığında sesin tüm yönlere havayı kullanarak yayıldığı küresel yayma (spherical emission) hipotezinin doğru olduğu düşünülür. Mikrofon tarafından alınan sinyali şu şekilde ifade ederiz:

$$S_r(i, t) = \frac{S_{em}\left(t - \frac{\vec{R}_0(i, t)}{c}\right)}{\vec{R}_0(i)} \quad (3.19)$$



Şekil 3.14. Cigada ve ark. (2007) tarafından kullanılan FMD üzerinde i.mikrofon tarafından fark edilen genel sinyal

$S_{em}(t)$ kaynak tarafından yayılan ses dalgası, t ise jenerik düşünülen zamandır. Bu Şekil 3.8.'deki mikrofon konumunu nasıl bulunabileceğini aşağıdaki şekilde tanımlıyor. Aşağıda kaynak noktası bilinen sesin tekrar nasıl oluşturulacağı verilmektedir:

$$S_{em}(i, t_{em}) = S_r\left(t + \frac{\vec{R}_0(i, t)}{c}\right)_{\vec{R}_0} (i, t) \quad (3.20.)$$

Kaynak noktasının bilinmediği gerçek noktalarda durum böyle değildir ve yukarıdaki formül işlemez. Bu durumlarda kaynak sinyallerin olması olası alanların taranıp dizi çıktısının belirlenmesi gerekir. Bu aşağıda verilmiştir.

$$S_d(t, loc) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \vec{R}(i, t, loc) \cdot S_r \left(t + \frac{\vec{R}(i, t, loc)}{c} \right) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{\vec{R}(i, t, loc)}{\vec{R}(i, t)} \cdot S_{em} \left(t - \frac{1}{c} \cdot \vec{R}(i, t) - \vec{R}(i, t, loc) \right) \quad (2.21.)$$

Burada *loc* tarayıcı noktalarını belirler. Yukarıda belirtilen hipotezin altında tek bir kaynak eğer $R_0(i)$ ile $R(i)$ aynı ise bu şu anlama gelir: Odak nokta ve sinyalin kaynağı aynı ise dizi kaynağı yayılan sinyaldir S_{em} yoksa çıktı yer filtresi ile odaklanan nokta ve kaynak nokta arasında göreceli fonksiyon ile zayıflatılır. Çıktıyı zayıflatma ve maksimum yayılma noktasını belirleme kapasitesi yukarıdaki formülün frekans domain'ine bakarak daha iyi anlaşılabilir. Bu aşağıda verilmiştir:

$$S_d(\omega, loc) = \int_{-\infty}^{\infty} S_d(t, loc) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (3.22.)$$

S_0 basınç büyüklüğü olan saf ton kaynaklarında $S_{em}(t) = S_0 \cdot e^{j\omega t}$ gibi bir durumda yukarıdaki formül şöyle ifade edilebilir:

$$S_d(\omega, loc) = S_0 \cdot \left[\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{\vec{R}(i)}{\vec{R}_0(i)} \cdot e^{-jk \left(\vec{R}_0(i) - \vec{R}(i) \right)} \right] \quad (3.23.)$$

Bu formülde frekans domain'inde belli bir frekanstaki dizi çıktısı ifade edilirken ($\omega/2\pi$) kaynak gücünün ürünü olarak verilir ve bunlara bağlı gerçek R_0 kaynak noktasına ve odaklanan noktaya bağlı olan, sesi yayan kaynağın frekansına ve sesin hızına bağlı olan uzaysal filtre ile verilir. Bu filtre her bir frekans için odaklanan noktada desibel azaltarak dizinin dalga örüntüsü ile temsil edilir.

3.3.2. MUSIC Algoritması

MUSIC “MULTiple Signal Classification” ifadesinin kısaltmasıdır. MUSIC algoritması gelen işaretlerin sayısının ve işaretlerin geliş doğrultularını doğru bir şekilde hesaplayabilen alt uzay tabanlı bir tekniktir (Hacıvelioğlu, 2005). MUSIC algoritması

anten dizileri, FMD gibi alanlarda uygulanabilmektedir (Rejdemyhr, 1991). En büyük değeri araştırarak sonuca gitmektedir.

MUSIC algoritmasında A eigen değerleri ile kendinden eşlenik operatör iken $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots$, ve uygun eigen değerleri v_1, v_2, \dots , iken, $\lambda_{M+1}, \lambda_{M+2}, \dots$, ifadesini her sıfır için destekler. Bu vektör v_{M+1}, v_{M+2}, \dots , A 'nın geçersiz süresidir. Alternatif olarak $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots$, A 'nın ses seviyesi çok küçük olabilir. Bu durumda A 'nın ses alt uzay süresi v_{M+1}, v_{M+2}, \dots , şeklindedir denebilir. Bu gösterim aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$P_{noise} = \sum_{j>M} v_j v_j^T \quad (3.24.)$$

T transpozu ve v_j^T lineer fonksiyonu temsil etmektedir. Bu görünümde vektör f iç çarpımı $\langle v_j, f \rangle$ olur. A 'nın başlıca uzaklığı v_1, v_2, \dots, v_M vektörü ile ölçülür. Kendinden eşlenik A ses alt uzayı dikeydir. vektör f sadece ses alt uzayı sıfırın üzerinde ise sınırlar içerisinde. Eğer $\|P_{noise} f\| = 0$ ise ve sırayla cereyan ediyorsa denklem 3.25. MUSIC algoritmasının karakterize eder.

$$\frac{1}{\|P_{noise} f\|} = \infty \quad (3.25.)$$

MUSIC genellikle sinyal işleme uygulamalarında kullanılır. Bu uygulamalarda kimi farklı zamanlı $t_n = n$ sinyal $x(t)$ ölçümünü yapılır. Örneklerin sonucu $x_n = x(t_n)$ rasgele değerler arasından göz önüne alınır. Korelasyon matrisini E beklenen değeri gösterir iken şu şekle ifade ederiz:

$$A_{n,m} = E(x_n \overline{x_m}) \quad (3.26.)$$

Sinyal oluşumunda harmonik sinyallerin farklı frekansları, artı ses gibi özel durumları göz önüne almalıyız:

$$x_n = a_1 e^{i\omega_1 n} + a_2 e^{i\omega_2 n} + \dots \quad (3.27.)$$

Farz edelim ki rastgele değerler ω_n benzer şekilde sonuç verdi. Amaç sinyal frekansını hesaplamaktır çünkü x_n 'in karşılıklı bağımsız farklı koşulları kendinden eşlenik matris A için şu şekilde ifade edilebilir:

$$A = E(|a_1|^2)s^1 \overline{s^1}^T + E(|a_2|^2)s^2 \overline{s^2}^T + \sigma_0^2 I \quad (3.27.)$$

Vektör s^j n. Bileşeni $s_n^j = e^{i\omega_j n}$ olarak belirlenir. Benzer bir şekilde $\sigma_0^2 = E(|\omega_n|^2)$ şeklinde bir ifade de mümkündür. s^1 ve s^2 ile diziyi ölçmeyi görmüş olduk.

Fonksiyon ω , frekans ω_1 ve ω_2 krokisini tahmin etmek için MUSIC algoritmasında denklem şu şekildedir:

$$\frac{1}{\|P_{noise} s^\omega\|} \quad (3.28.)$$

n. bileşen $e^{i\omega n}$ iken s^ω vektör olarak alındı. ω_1 ve ω_2 frekansın zirve noktası MUSIC yalancı spektrumu olarak adlandırılır (Cheney, 2003).

3.3.3. Root-MUSIC Algoritması

Hızlı ve etkili bir dizi işleme tekniğidir. Root-MUSIC algoritması MUSIC algoritmasına göre işi kolaylaştırır. MUSIC algoritmasına göre daha az karmaşık bir algoritmadır (Özdemir, 2008). Elde edilen denklemin polinom köklerini minimize etmeye dayanan bir tekniktir. MUSIC yönteminin bütün parametre uzayını taraması nedeniyle yüksek işlem ve depolama maliyeti gerektirdiğinden bu sorunu asmak üzere Root-MUSIC yöntemi geliştirilmiştir (Barabell, 1983).

Örnek kovaryans tahmin matrisi hesaplaması:

$$\hat{R} = \frac{1}{N} \sum_{n=m}^N \tilde{y}(n) \tilde{y}^*(n) \quad (3.29.)$$

Bu bir eigen ayrışmadır. \hat{S} ve \hat{G} matrisleri belirtir, \hat{R} 'nin $\{\hat{S}_1, \dots, \hat{S}_p\}$ ve $\{\hat{g}_1, \dots, \hat{g}_{m-p}\}$ eigen matrisi inşa edilir, S ve G benzer şekilde tanımlanır. Denklemden p 'nin frekans tahmini açısal pozisyonuna göre yapılı:

$$a^T(z^{-1})\hat{G}\hat{G}^*a(z) = 0 \quad (3.30.)$$

Root-MUSIC algoritması sadece düzgün doğrusal FMD dizilerinde çalışmaktadır. Bu diziler 360 derece kapsama ile çalışmaya hem 180 derece belirsizliğinden hem dizi uçlarında yön bulamamalarından dolayı uygun değildir. (Mathews ve Zoltowski, 1994). Root-MUSIC algoritması ayırık frekans spektrumunu döndürerek gelen sinyal gücünü tahmin eder. MUSIC tüm frekans örneklerine pseudospectrum döndürür.

MUSIC ve Root-MUSIC algoritmalarında mikrofonsayısının ve örnek sayısının azalması ile çözünürlüğün düştüğü, mikrofonsayısının ve örnek sayısının artması ile çözünürlüğün yükseldiği gözlenmiştir. MUSIC algoritması gelen sinyalin sayısını ve geliş yönünü yüksek doğrulukta hesaplayabilmektedir. Root-MUSIC algoritmasında da yüksek performans elde etmek mümkündür.

3.3.4. ESPRIT Algoritması

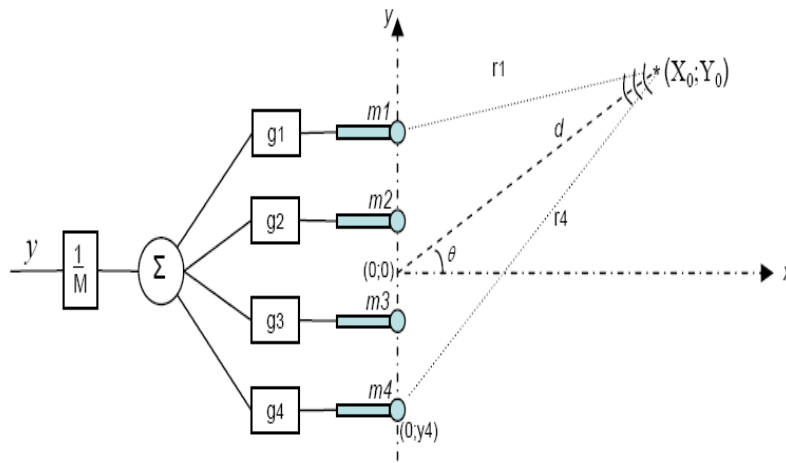
ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) algoritması MUSIC gibi işaretlerin geliş doğrultularını hesaplamak için kullanılan alt uzay tabanlı matris kaydırmaya dayanan bir tekniktir (Roy ve Kailath, 1989). MUSIC ve Root-MUSIC algoritmalarındaki yüksek işlem miktarını düşürmek amacı ile geliştirilmiştir ama sinyalin geliş açısını tahmin etmek dışında bir uygulama alanı yoktur. Tüm açısal spektrumu taramadan geliş açısını bulabilmektedir.

3.4. Ses Kaynağının ve Mikrofonlar Arası Gecikmenin Hesaplanması

(Çontar, 2007). tarafından geliştirilen hesaplama yönteminde Şekil 3.31.'de verilen olayın hesaplanmasında her bir çözüm kümesi olarak açı ve uzaklıktan (θ, d)

oluşan bir değer kullanılmıştır. “d” değeri “y” ekseninden uzaklığı göstermektedir. “θ” değeri ise, orijin (0;0) noktasından ses kaynağının bulunduğu noktaya çizilen doğrunun “x” eksenini ile yaptığı açığı göstermektedir olup, -90 ile +90 arasında bir değerdir. Bu durumda ses kaynağının koordinatları $(X_0;Y_0)$, Denklem 3.31. ile hesaplanmıştır.

$$X_0 = d * \cos(\theta), Y_0 = d * \sin(\theta) \quad (3.31.)$$



Şekil 3.15. Geciktir ve topla yöntemi ile demetleme.

Ses kaynağının bulunduğu noktanın, her bir mikrofonu uzaklığını (r_i) hesaplamak için Denklem 3.42. kullanılmıştır.

$$r_i = \sqrt{(Y_0 - Y_i)^2 + (X_0)^2} \quad (3.42.)$$

Denklem 4.2’de Y_i , her bir mikrofonun “y” eksenini üzerindeki konumunu göstermektedir. Gecikme değerlerinin, sayısallaştırılmış ses bilgisi dizisi içerisinde indislere dönüştürülmesi işlemi ise denklem 3.43 ile hesaplanmıştır.

$$g_i = \frac{r_i}{c} \cdot f \quad (3.43.)$$

Denklem 3.43.'de r_i , i nci mikrofonun ses kaynağına uzaklığını, c sesin hızını, f örnekleme frekansını ifade etmektedir. g_i ise i nci mikrofondaki gecikmenin indis olarak gösterimidir. Sesin havadaki yayılma hızı (c) olarak 340 ms^{-1} alınmıştır. Denklem 3.44.'de olduğu gibi mikrofonlardan alınan ses diziler üst üste toplanarak toplam ses dizisi elde edilmiştir.

$$Y_k = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M X_{k+g_j}^j \quad (3.44.)$$

3.5.Sinyal Gürültü Oranı

Sinyal Gürültü Oranı (SGO) sinyalin her yerinin incelenmesi ile elde edilir. SGO (Signal-to-Noise Ratio) değerinin hesabı için, sinyal içerisinde gerçek sesin ve gürültünün olduğu alanların ayırt edilebilmesi gerekmektedir (Adcock, 2001), (Ying, 2007). Denklem 3.45.'de sinyal gürültü oranının hesaplaması verilmiştir.

$$SGO = \frac{\text{Sinyal}}{\text{Gürültü}} = 10_{\log} \frac{\text{Sinyal gücü}}{\text{Gürültü gücü}} = 20_{\log} \frac{\text{Sinyal voltajı}}{\text{Gürültü voltajı}} \quad (3.45.)$$

Yağmur sesi, şimşek çakması, araç gürültüsü, elektronik cihazların çıkardığı sesler gürültüyü oluşturan etmenlerden sadece birkaçıdır. Gürültü oranının artması sinyal işlemede zorlukları beraberinde getirir.

3.6. Alt Uzay Tekniği

Uzayda yerleştirilmiş herhangi bir konumdaki N-adet algılayıcıdan elde edilen verilerin çapraz ilintileri ile oluşturulan ilinti matrisinin öz değerlerini kullanarak yön bulur. Temelde algılayıcılardan elde edilen verilerin çapraz ilintilerini kullanarak elde edilen ilinti matrisinin öz değerlerini hesaplayarak yön bulma işlemine dayanmaktadır. Genlik ve faz karşılaştırmalarına dayanan yöntemlere göre daha fazla kaynak yönü saptama kabiliyetine sahiptir. Alt uzay yaklaşımı, MUSIC yönteminin temelini oluşturur. Öncelikle işaret alt uzayı belirlenir ve sonra da sinyal kaynağı yönleri

bulunur. Sinyal kaynağı yönleri öz ilinti matrisinin öz değerleriyle ilintilidir. (Elma, 2007).

3.7. Lineer FMD

FMD çeşitli geometrik şekillerde konumlandırılabilirler. Bir çizgi üzerinde konumlandırılırlarsa buna lineer FMD adı verilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Kayıt Formatı

Verilerin işlenmesinde WAV dosya formatı kullanılmıştır. Bu formatın yapısı çok basittir. MP4 ve benzeri sıkıştırılmış formatların aksine WAV'lar sadece sayısallaştırılmış seslerdir. Çok yer kaplarlar, ancak basittirler ve herhangi bir bilgisayarda bile kaliteli ses verebilirler. WAV üç kısımdan oluşur. Bunlardan birincisi dosyayı WAV olarak adlandıran kısımdır. İkinci kısım değişkenlerin nitelendirildiği kısımdır. Üçüncü kısımdaysa asıl bilgi yani müzik parçası depolanır. Matlab programı WAV dosyalarını kolaylıkla işleyecek komut setine sahiptir.

4.2. Örnekleme Frekansı

"Bit" kavramı sinyal dönüştürme işlemlerinde örneklenen işaretin kaç eşit parçaya bölünerek örnekleneceğini belirlemektedir. Bu sayı ne kadar büyük ise kaynak işaretten alınan örnek gerçeğine o kadar yakın bir şekilde tekrar yaratılabilir. Günümüzde standart olarak 16 bit'tir.

Örnekleme Frekansı ise kaynak işaretten alınan örneklerin bir saniyede kaç kere alınacağını belirler. Yani 44.1Khz oranında bir örnekleme var ise kaynak işaretten saniyede 44.100 örnek alınacaktır. Bir ses işaretin içindeki maksimum frekansın iki katı büyüklüğünde bir frekans ile örnekleme yapılır ise sonuçta tekrar yaratılan işareti gerçeğinden ayırmak çok zordur. İnsan kulağının en fazla 22.05 Kh duyabileceğini esas alır ise insan kulağını rahatsız etmeyecek bir işlem için en az 44.1 Khz bir örnekleme kullanılmalıdır.

4.3. Genlik, Periyot, Frekans

Ses, katı, hava, gaz maddelerin çevresindeki maddeleri etkileşimi ile oluşurken dengedeki bir sisteme dışarıdan bir kuvvet uygularsa, sistemin dengesi bozulacak ve sistemin her bir parçası bu kuvveti yok edecek yönde davranarak sistemi denge konumuna

getirmeye çalışacaktır. Böylece sistem denge konumunun çevresinde uyumlu bir salınım yapacaktır. Sistemin herhangi bir anda denge konumuna olan uzaklığına uzanım, uzanımın en fazla olduğu uzaklığa da genlik (amplitude) denir. Küçük genlikli basit uyumlu harekete titreşim denir. Basit uyumlu hareketin bir defa tamamlanması için geçen saniye cinsinden süreye periyot (T) denir. Bir saniyelik süre içinde oluşan titreşim sayısına ise frekans (f) denir ve Hertz olarak adlandırılır. 5 Hz saniyede beş devire karşılık gelir. Dönüş veya titreşim hızı arttıkça frekans büyür, periyot küçülür ($f=1/T$) (GÜNER ve ERGENÇ, 2010).

4.4. Ses Hızı

Ses hızı havada, deniz seviyesinde, 15 derece sıcaklıkta 344 metre/saniye olarak alınır. Ses hızı frekansa bağlı olarak değişmez, her frekansta ses aynı hıza gidecektir. Havanın yoğunluk ve sıcaklık değerleri sesin yayılma hızını etkiler. Hava soğudukça ses hızı azalır. Denizde ses yaklaşık 4-5 km. ileriye gidebilir. Rüzgâr arkadan eserse ses zemine doğru, önden eserse yukarı doğru yönlenecektir.

4.5. MIT Mikrofon Dizisi

Bu çalışmada geliştirilen yöntemin doğruluğu, MIT (Massachusetts Institute of Technology) bilgisayar bilimleri ve yapay zeka laboratuvarında geliştirilen ve 1024 adet mikrofondan oluşan FMD ile kayıt edilen ses bilgileri kullanılarak da test edilmiştir.

MIT bilgisayar bilimi ve yapay zekâ laboratuvarında tasarlanan 1024 elemanlı mikrofon dizisinde 120 mikrofon sesleri kaydetmek, 4 mikrofon ise özel mikrofondur. Özel mikrofondan 509 numaralı mikrofon referans, 508 numaralı mikrofon boş, 510 ve 511 numaralı mikrofondan sayacıdır. MIT FMD, her biri 60 adet mikrofondan oluşan 17 sıralık grubun üst üste yerleştirilmesi ile elde edilmiştir. Mikrofonlar arasında yatay ve düşey olarak 3 santimetrelilik mesafe bulunmaktadır. Geliştirilen yöntem MIT mikrofon dizisi ile kaydedilmiş sesler üzerinde denenmiştir.

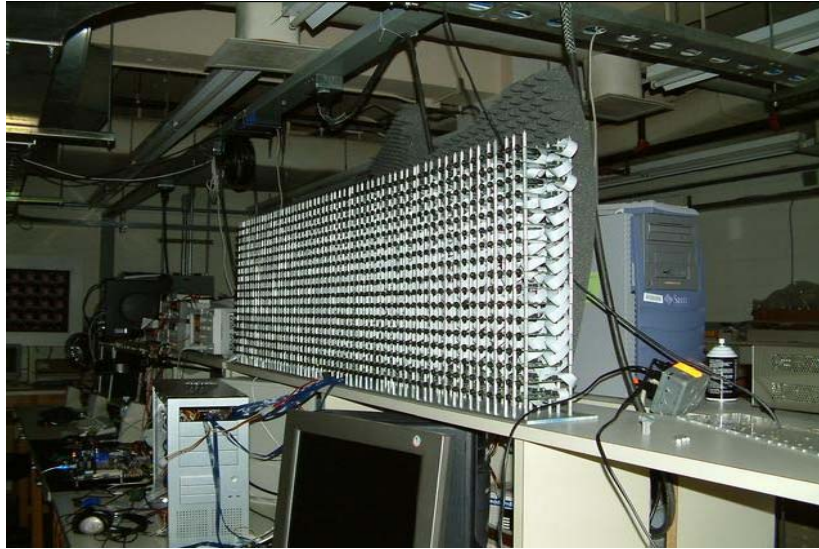
Çizelge 4.1. 1024 elemanlı FMD X,Y,Z koordinatları.

X	X, Dizinin düzlemden uzaklığı, daima sıfırdır.
---	--

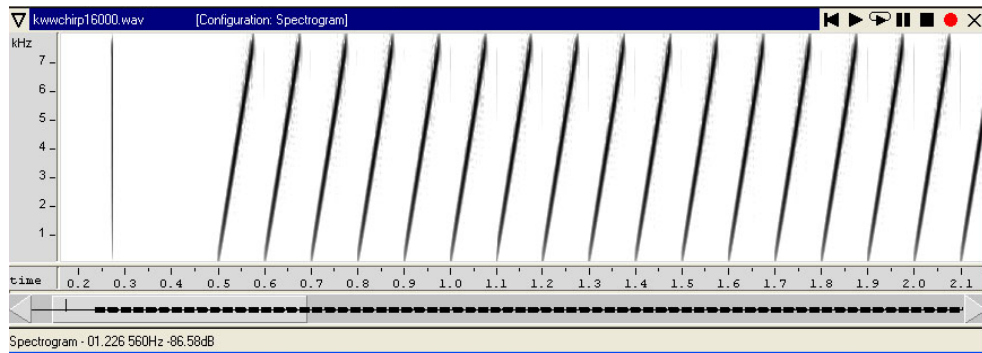
Y	Y, Dizinin düzleminde yatay boyutu
Z	Z, Dizinin düzlemde dikey boyutu

Çizelge 4.2. 1-5 numaralı mikrofonların koordinatları.

MİKROFON NO	X	Y	Z
1	0.000000	-0.810000	0.030150
2	0.000000	-0.780000	0.030150
3	0.000000	-0.810000	0.060300
4	0.000000	-0.780000	0.060300
5	0.000000	-0.810000	0.090449

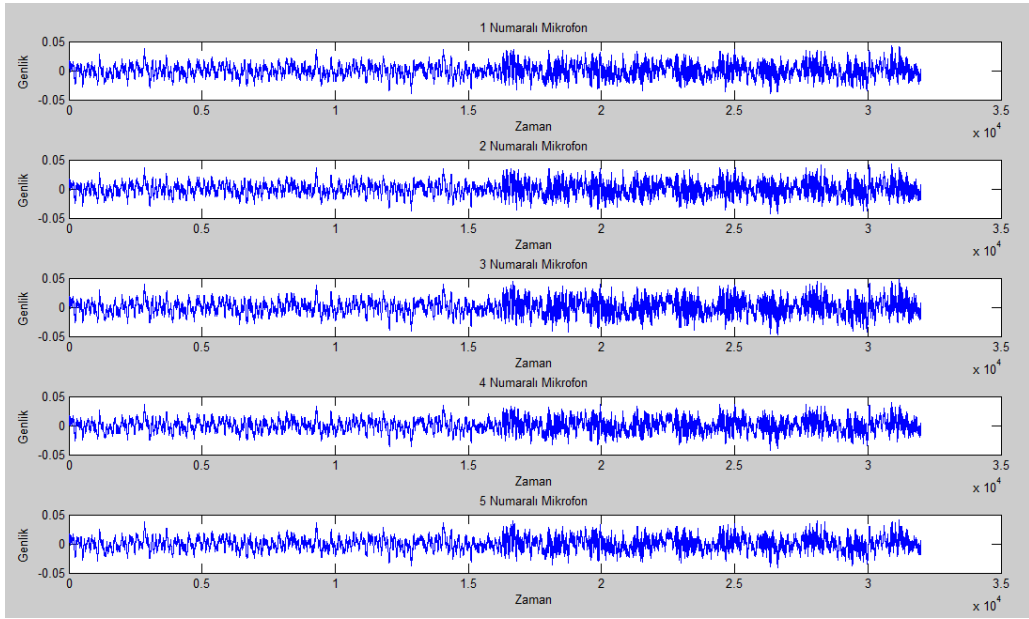


Şekil 4.1. MIT (Massachusetts Institute of Technology) bilgisayar bilimi ve yapay zekâ laboratuvarında tasarlanan 1024 elemanlı mikrofon dizisi.

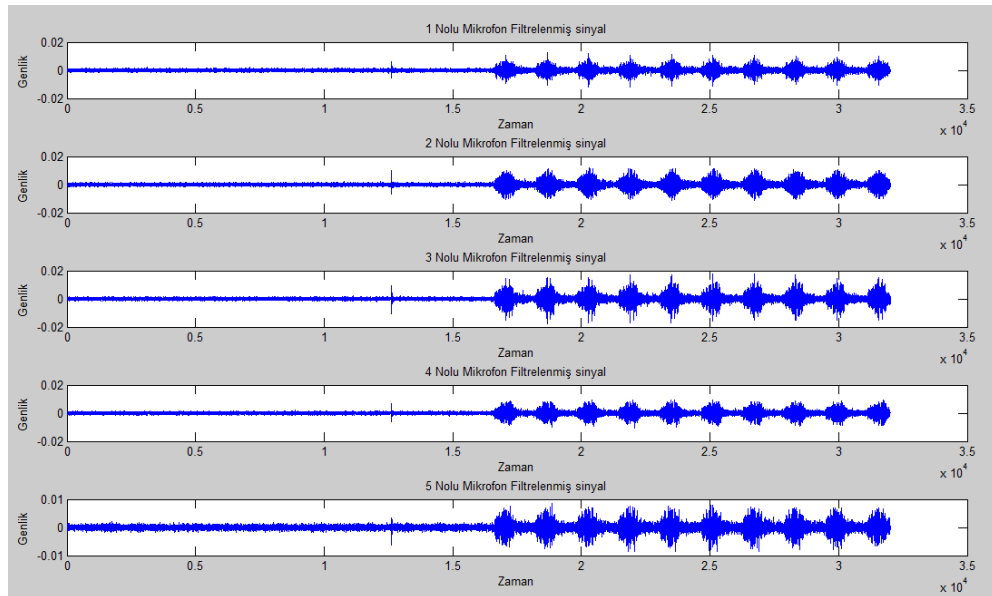


Şekil 4.2. 1024 elemanlı mikrofon dizisi ile kaydedilmiş cıvıltı sesi spectogramı.

X eksenini zamanı (örnekleme), Y eksenini ise sinyalin genliğini göstermektedir. Örnekleme frekansı 16000 Hertz olduğu için, 2 saniyelik ses bilgisi 32000 elemanlı bir vektör ile temsil edilmiştir. Öncelikle ses sinyalleri içerisindeki çok düşük ve çok yüksek frekanstaki gürültüyü temizleyebilmek amacıyla filtreleme işlemi yapılmıştır. Uygulanan yüksek geçiren filtre ile 600 Hz altındaki sinyaller bastırılmıştır. Şekil 4.3'de ilk beş mikrofonla ait giriş sinyalleri, Şekil 4.4'de ise ilk beş mikrofonla ait giriş sinyallerine filtre uygulanmış hali görülmektedir.



Şekil 4.3. MIT 1-5 numaralı mikrofonların giriş sinyali.

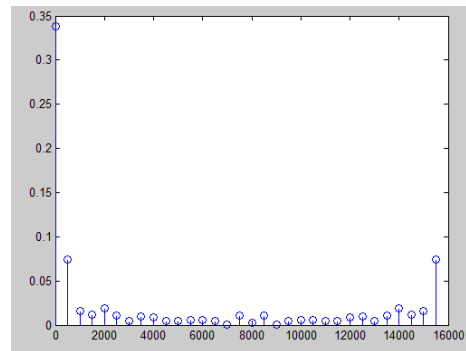


Şekil 4.4. MIT 1-5 numaralı mikrofon sinyallerine filtre uygulanmış hali

Fourier dönüşümünü hesaplamak için dinlemek yeterlidir. Kulak otomatik olarak dönüşümü hesaplar. Kulak, sesi frekans tayfına (farklı perdelerdeki ses miktarları) çevirerek dönüşümü gerçekleştirir. Beyin bu bilgiyi algılanmış sese çevirir. Benzeri işlemler matematiksel yöntemleri kullanarak ses dalgaları veya ışık dalgaları, okyanustaki gelgit olayları ve güneş hareketi örneklerinde olduğu gibi herhangi bir değişim üzerinde gerçekleştirilebilir. Bu matematiksel gereçleri kullanarak değişimleri gösteren fonksiyonları sinüzoidal dalgalar kümesine çevirebiliriz. Fourier dönüşümü, her frekansa ait sinüs dalgası için genlik ve evre hesaplayan bir fonksiyondur (Bracevell, 2010).

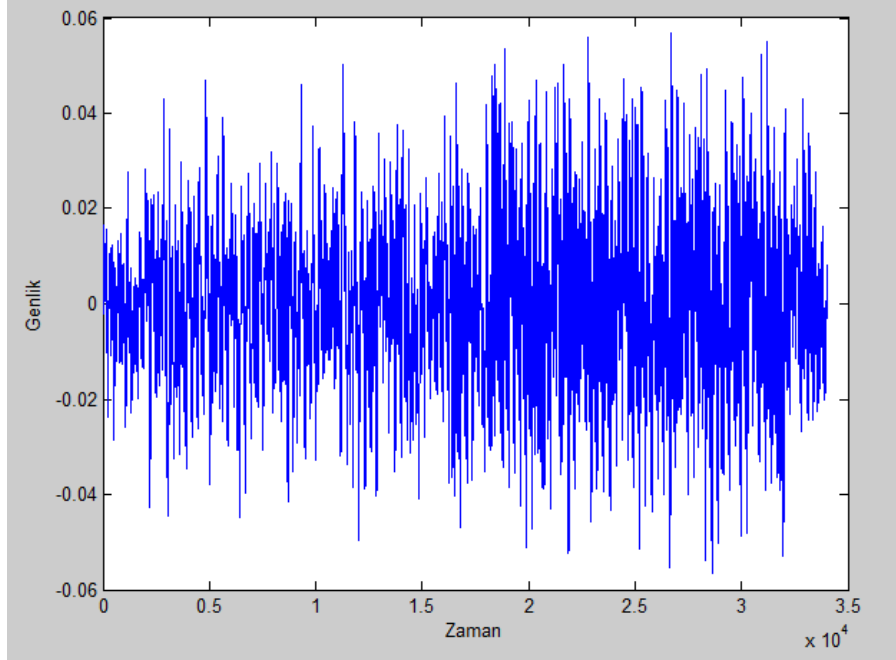
Çapraz ilinti yöntemi ile mikrofonlar arası gecikme miktarlarının hesaplanması HFD (Hızlı Fourier Dönüşümü) ile mümkündür (Valin ve ark., 2003). HFD istatistik tabanlı bir fonksiyondur. Karışık sinyal yumaklarını ayırıştırır, hangi frekansta ne şiddette bir titreşim olduğunu gösterir. HFD tekrarlanmayan sinyalleri dikkate almaz. Karmaşık sinyaller içinde periyodik olanları belirleyip harmonik bileşenlere ayırır. Öncelikle her bir mikrofondan alınan sinyallerin HFD değerleri hesaplanır. İkinci sinyalin HFD değerinin karmaşık eşleniği ile birinci sinyalin HFD sonucu çarpılarak ters HFD işlemi uygulanır. Elde edilen vektör dizisinin en büyük değere sahip indisi iki mikrofon arasındaki gecikme miktarını gösterir. Matlab programında HFD işlemleri için FFT (Fast Fourier Transform) fonksiyonu vardır.

Giriş işaretimiz, 2 saniye boyunca $f_s=16000\text{Hz}$ ile örneklenmiştir. Böylece elimizde 32000 adet örnek olur ($N=32000$). Bu işaretin frekans domenindeki karşılığı, hızlı fourier dönüşümü ile bulabilmek için Matlab FFT fonksiyonu kullanılabilir:

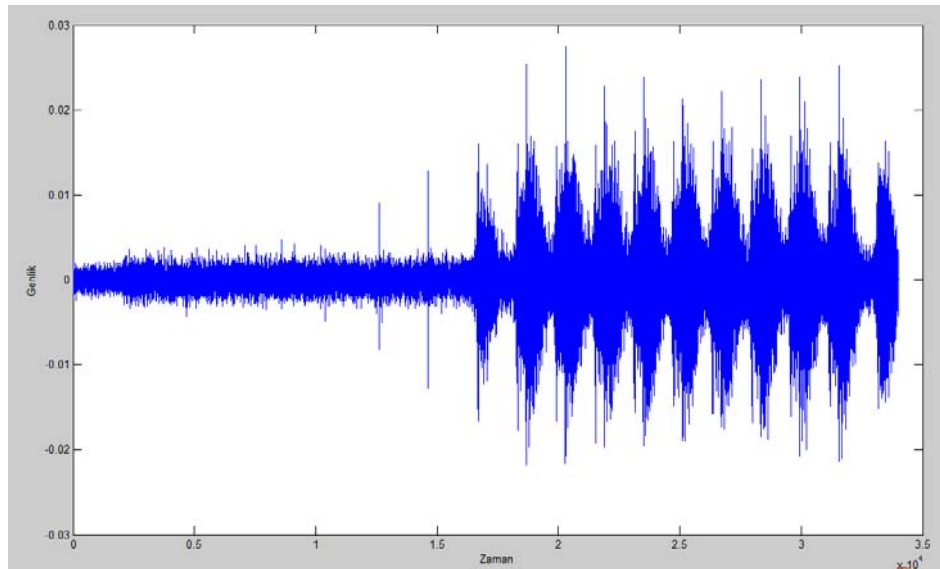


Şekil 4.5. Bir numaralı sinyal HFD frekans spektrumu.

Geometrik yöntemler kullanılarak ses kaynağının mikrofonlara olan uzaklığı bulunabilir. Ses kaynağı ile mikrofonlar arasındaki fark bulunduktan sonra giriş sinyallerine uygulanacak geciktir ve topla işlemi ile yeni bir ses sinyali elde etmek mümkündür.



Şekil 4.6. 1-5 numaralı mikrofonlara filtre uygulamadan geciktir ve topla uygulandıktan sonraki sinyal çıktısı.

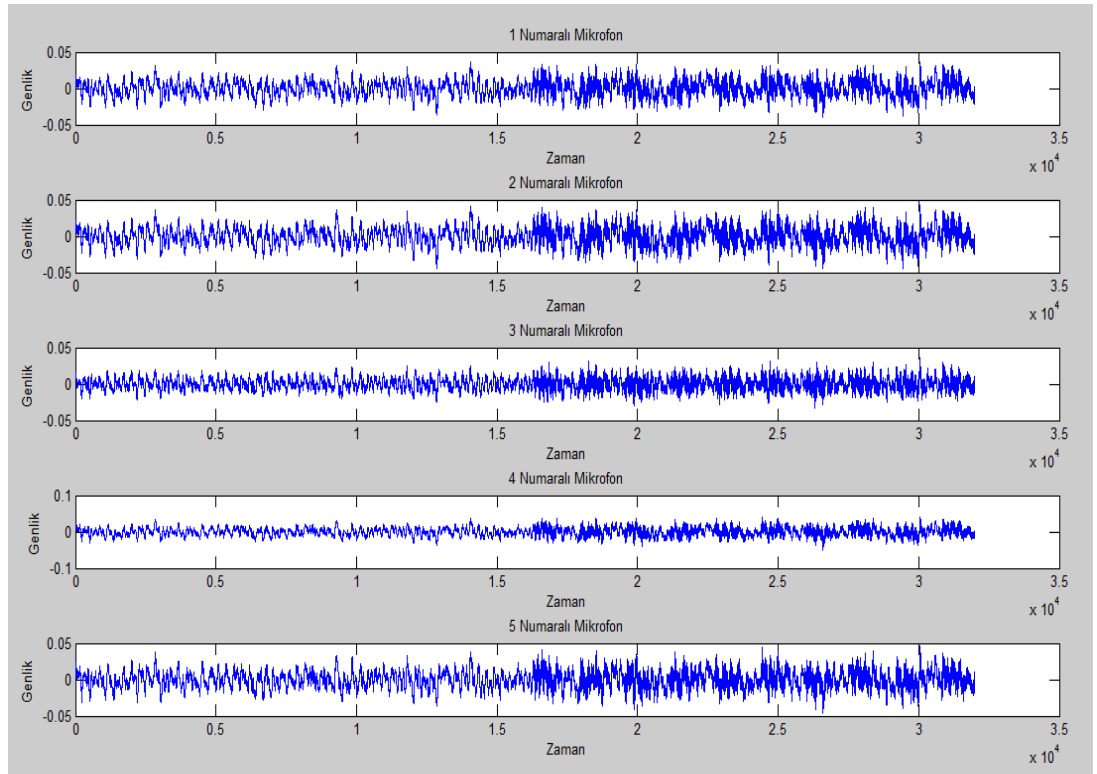


Şekil 4.7. 1-5 numaralı mikrofonlara filtreli geciktir ve topla uygulandıktan sonraki sinyal çıktısı.

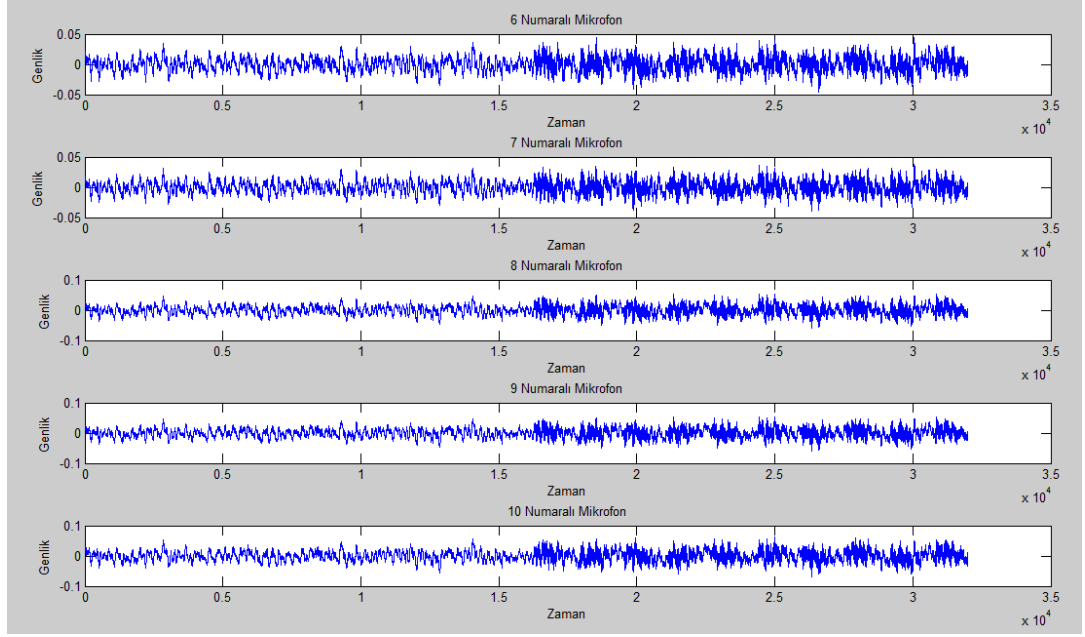
Bu sefer 61,62,63,88,89,90,91,118,119,120 numaralı mikrofonlardan oluşan 10 elemanlı bir dizi üzerinde geciktir ve topla uygulaması yapılacak ve 5 elemanlı mikrofonu göre farklılıkları incelenecektir. Örnek olarak seçilen 10 adet mikrofonun koordinatları Çizelge 4.3.'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.3. 61,62,63,88,89,90,91,118,119,120 numaralı mikrofonların koordinatları.

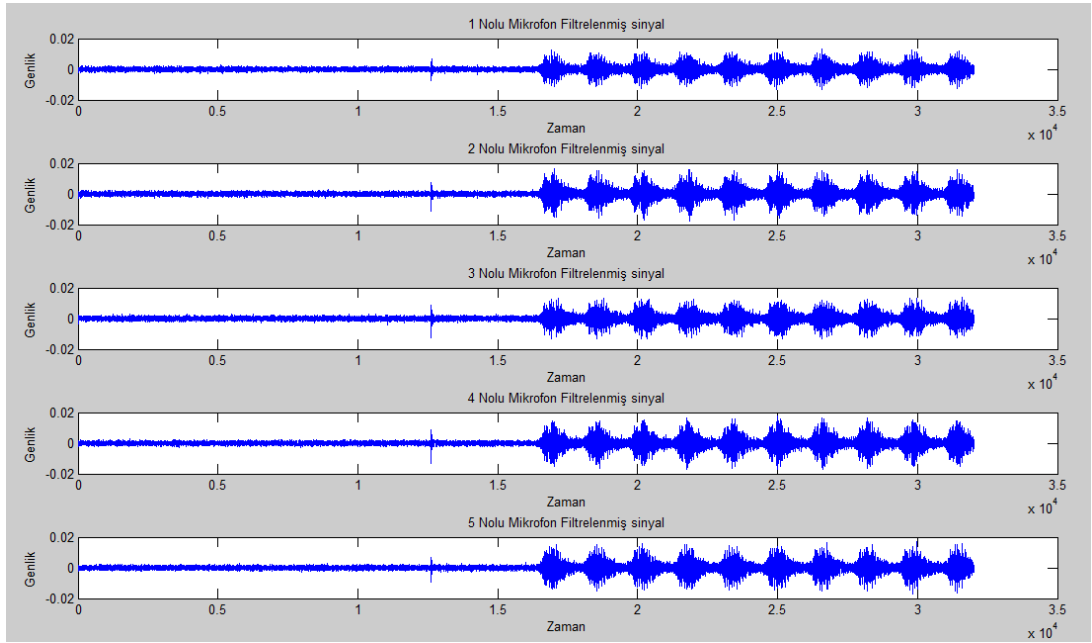
MİKROFON NO	X	Y	Z
60	0.000000	-0.720000	0.422097
61	0.000000	-0.750000	0.452247
62	0.000000	-0.720000	0.452247
88	0.000000	-0.660000	0.361798
89	0.000000	-0.690000	0.391947
90	0.000000	-0.660000	0.391947
91	0.000000	-0.690000	0.422097
118	0.000000	-0.600000	0.331648
119	0.000000	-0.630000	0.361798
120	0.000000	-0.600000	0.361798



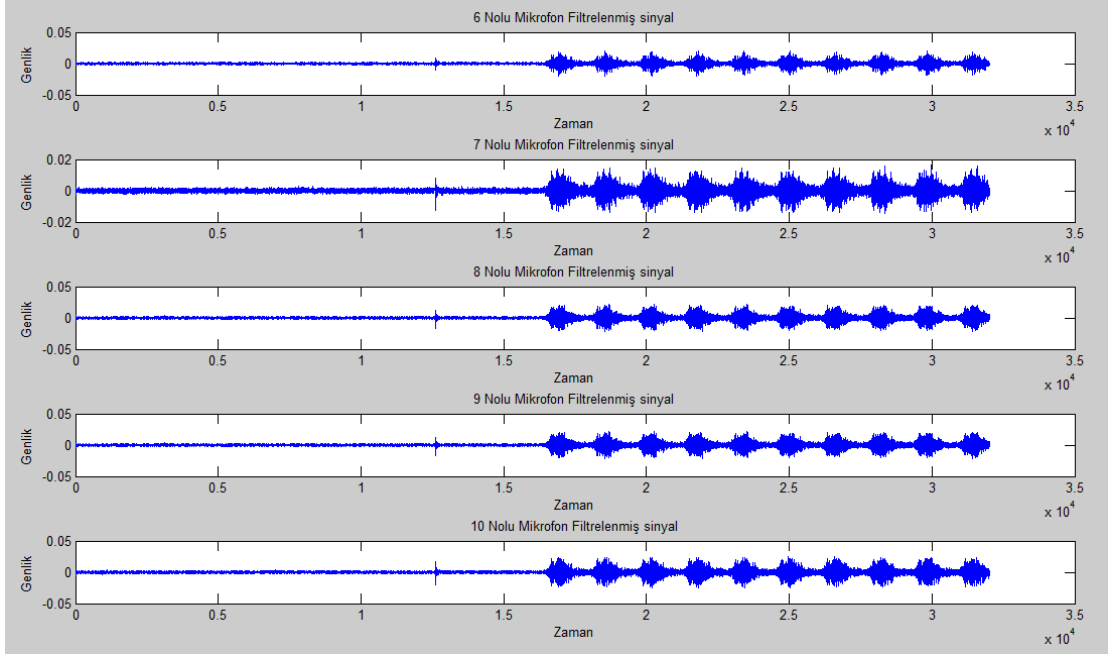
Şekil 4.8. 61,62,63,88,89 numaralı mikrofonların giriş sinyalleri.



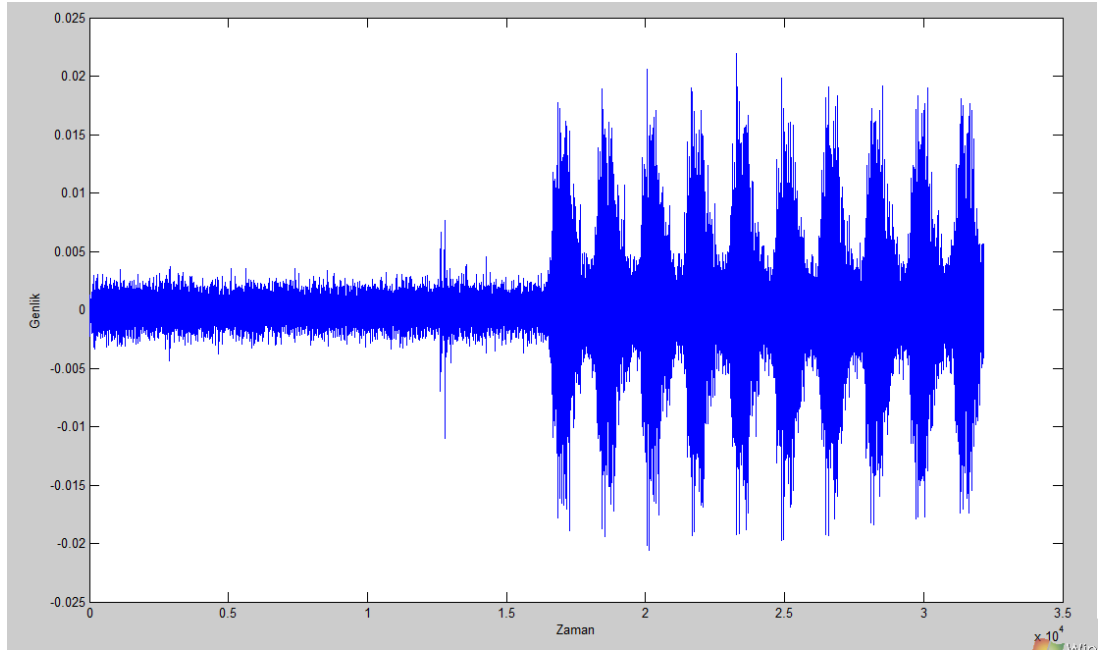
Şekil 4.9. 90,91,118,119,120 numaralı mikrofonların giriş sinyalleri.



Şekil 4.10. 61,62,63,88,89 numaralı mikrofonların giriş sinyallerinin filtrelenmiş hali.



Şekil 4.11. 90,91,118,119,120 numaralı mikrofonların giriş sinyallerinin filtrelenmiş hali.



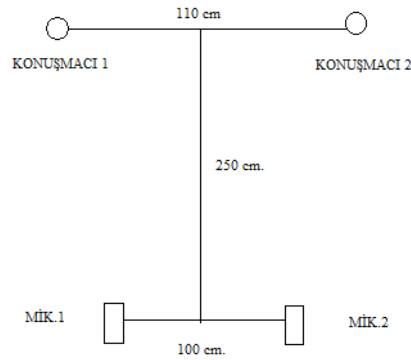
Şekil 4.12. 61,62,63,88,89,90,91,118,119,120 numaralı mikrofonlara geciktir ve topla uygulandıktan sonraki sinyal çıktısı.

4.5. İki Elemanlı Mikrofon Dizisi

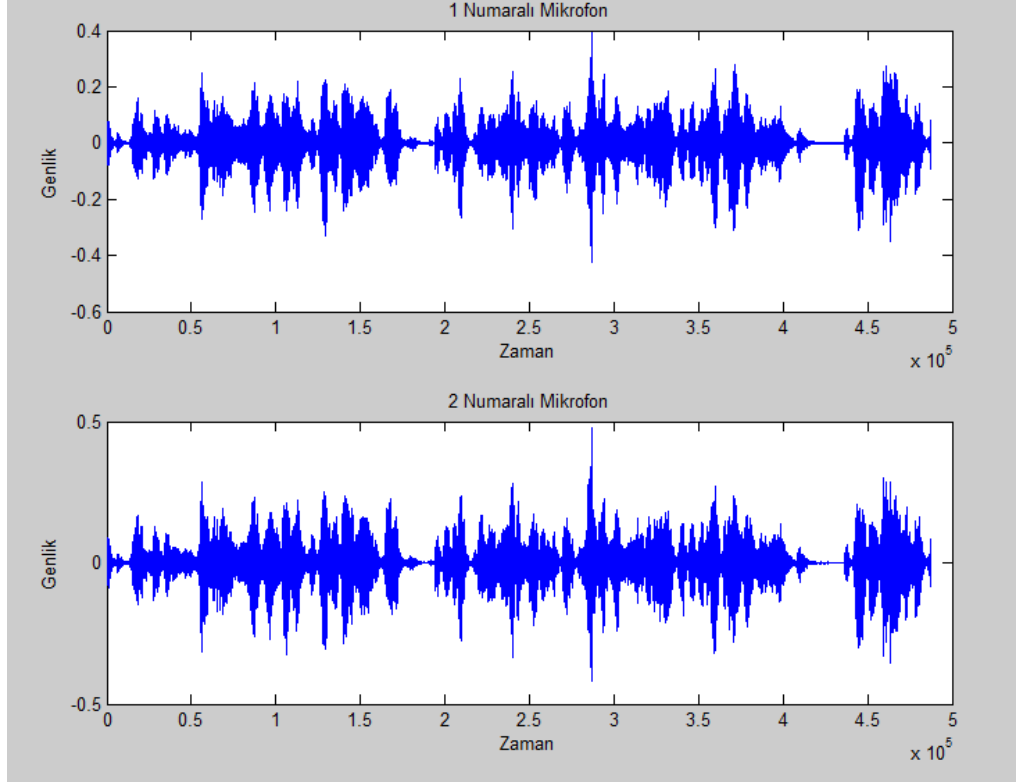
İlk uygulamada iki elemandan oluşan FMD'de mikrofonların karşısındaki 250 cm. mesafede 2 konuşmacı bulunmakta, konuşmacılar arasındaki mesafe 110 cm. ve iki mikrofonun birbirine olan uzaklığı ise 100 cm olarak alınmıştır. X eksenini zamanı (örnekleme), Y eksenini ise sinyalin genliğini göstermektedir. Örnekleme frekansı 44100 Hertz, 16 bittir. Ses bilgisi 487694 elemanlı bir vektör ile temsil edilmiştir.



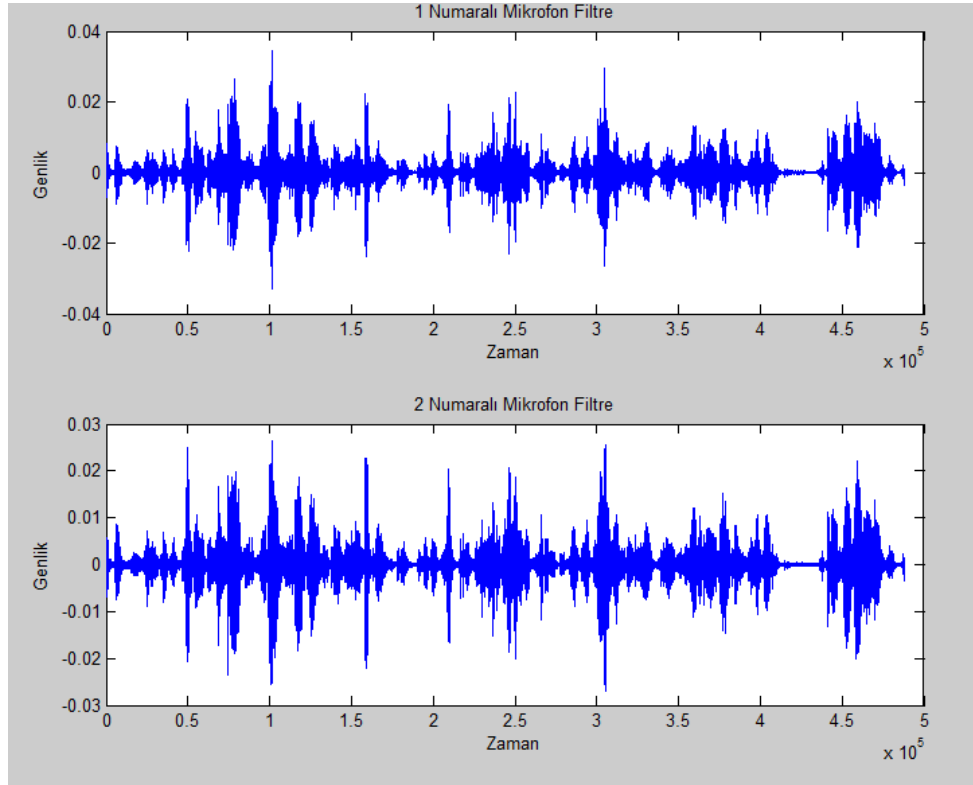
Şekil 4.13. İki elemanlı mikrofon dizisinin görüntüsü.



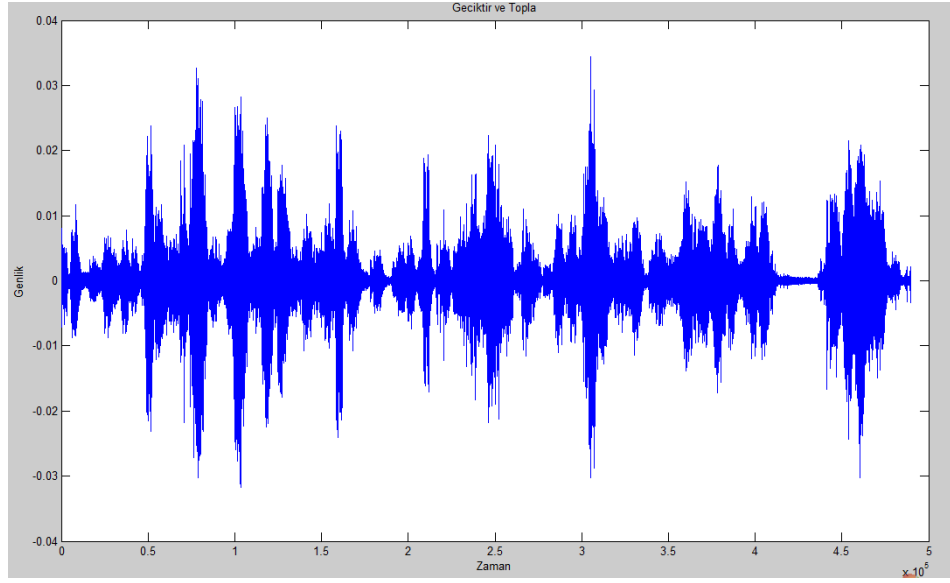
Şekil 4.14. 100 cm. mikrofonlar arası mesafede mikrofon ve konuşmacıların konumu.



Şekil 4.15. İki elemanlı mikrofon dizisinde giriş sinyalleri.

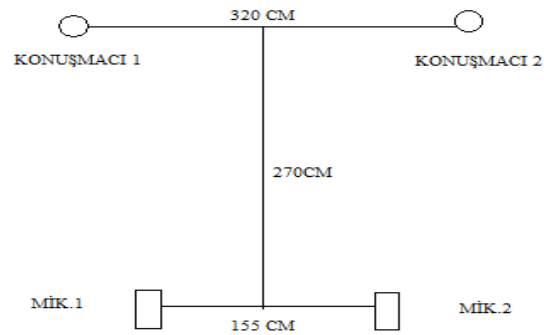


Şekil 4.16. İki elemanlı mikrofon dizisinde giriş sinyallerinin filtrelenmiş hali.

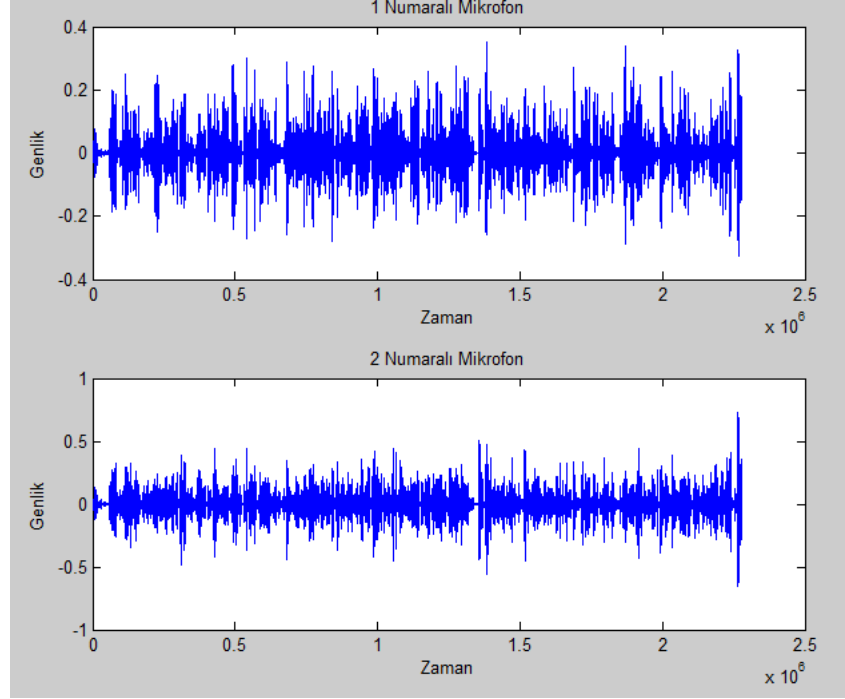


Şekil 4.17. İki elemanlı mikrofon dizisine geciktir ve topla uygulanmış hali.

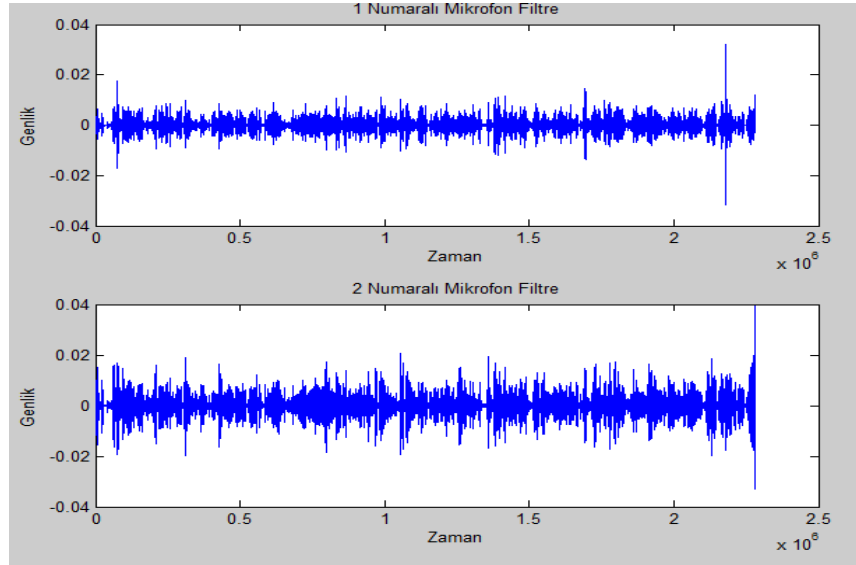
İkinci uygulamada mikrofonlar arası uzaklık 155 cm, mikrofonlardan 270 cm uzaklıkta karşı noktada 320 cm aralıklı sabit konumlu 2 konuşmacı bir metin okumaktadırlar. X eksenini zamanı (örnekleme), Y eksenini ise sinyalin genliğini göstermektedir. Örnekleme frekansı 44100 Hertz, 16 bittir. Ses bilgisi 2278144 elemanlı bir vektör ile temsil edilmiştir.



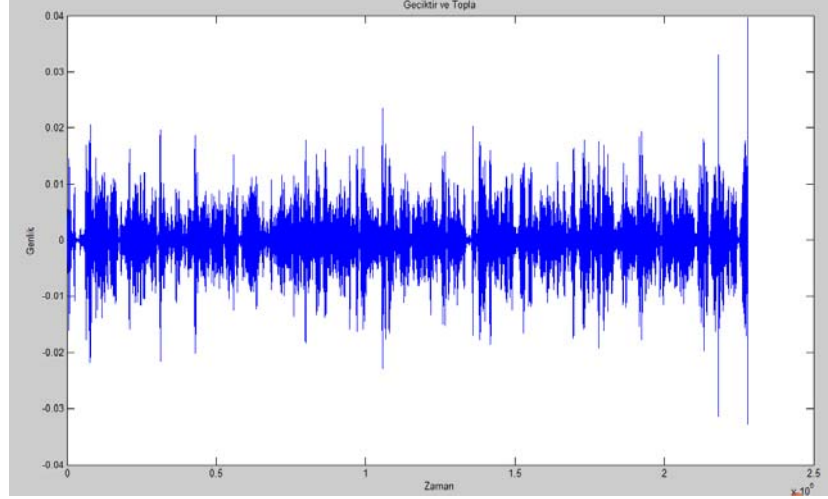
Şekil 4.18. 155 cm. mikrofonlar arası mesafede mikrofon ve konuşmacıların konumu.



Şekil 4.19. Konuşmacılar arasında 320 cm, mikrofonlar arası 155 cm. giriş sinyalleri.



Şekil 4.20. Konuşmacılar arasında 320 cm, mikrofonlar arası 155 cm. giriş sinyallerinin filtrelenmiş görüntüsü.



Şekil 4.21. Sinyallere geciktir ve topla uygulanmış görüntüsü.

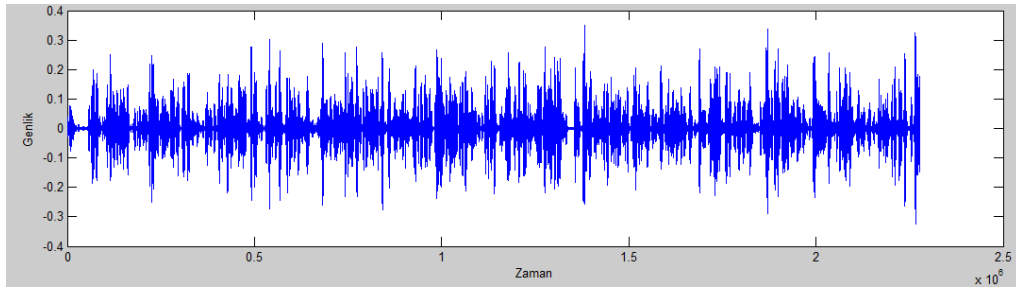
Şekil 4.15’de iki elemanlı mikrofon dizisinde zaman-genlik grafikleri incelendiğinde zaman ekseninde ki sinyal genliklerinin çok ufakta olsa birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bu nokta iki mikrofonun bize aynı zamanda farklı sinyalleri aldığını gösterir. Bu nedenle yeniden sinyalin oluşturulması aşamasında bu zaman farkının giderilerek uygun sinyallerin üst üste gelmesi gerekir.

Şekil 4.11 ve Şekil 4.20’de görülen filtrelenmiş sinyaller giriş sinyaline insan sesi frekansı dışında kalan ses sinyallerinin filtrelenmesi sonucu elde edilmiş sinyallerdir. Şimşek çakması gibi çevresel faktörler sonucu ortaya çıkabilecek bazı seslerin filtrelenerek giriş sinyalinin temizlenmesi gerekmektedir.

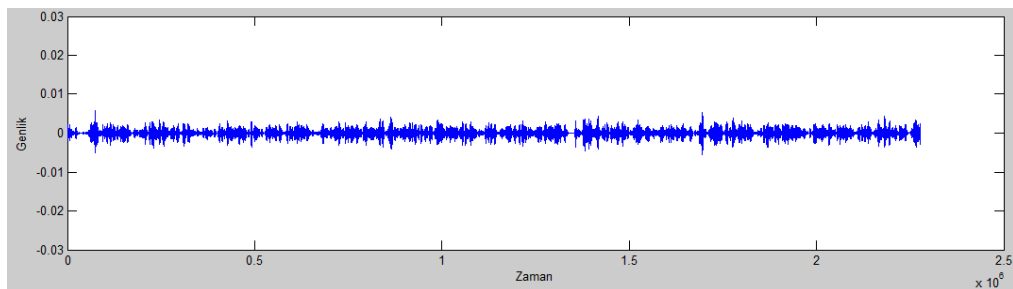
Sinyallere geciktir ve topla algoritması uygulaması sinyalin zaman-genlik grafiğinde değişikliğe neden olmaktadır. Algoritmanın verimli bir çıktı verebilmesi için birden fazla giriş sinyalinin zaman ekseninde doğru noktalarının toplanarak birleştirilmesi gerekmektedir. Buradaki bir kayma çıktının istenilen sonucu vermemesine neden olabilmektedir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında, iki, beş ve on elemanlı mikrofon dizilerine bir ve birden fazla ses kaynağından gelen giriş sinyalinin kaynağa uzaklığı ve mikrofonların birbirine olan uzaklığı göz önüne alınarak uygun gecikmeler uyguladıktan sonra gecikme uygulanmış sinyalleri toplayarak daha güçlü kaydırılmış bir sinyal elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu işlemin gerçekleşebilmesi için mikrofon dizilerinin belirli bir noktaya odaklanması gerekmektedir. Ses kaynağının en yüksek olduğu nokta odaklanması gereken nokta olarak alınmıştır. Şekil 5.1.'de mikrofon dizisinden alınan sinyallerin zaman-genlik grafiği görülmektedir. Geciktir ve topla işleminden önce sinyalin filtrelemesi istenmeyen gürültünün bir kısmını temizlemektedir. İnsan sesinin algılayabileceği sınırlar dışındaki sinyaller üzerinde filtreleme Şekil 5.2.'de yapılmıştır ama bu yöntem sinyaldeki tüm gürültüyü temizleyememiştir.



Şekil 5.1. Ses sinyali zaman-genlik grafiği.



Şekil 5.2. Filtrelenmiş sinyal genlik-zaman grafiği.

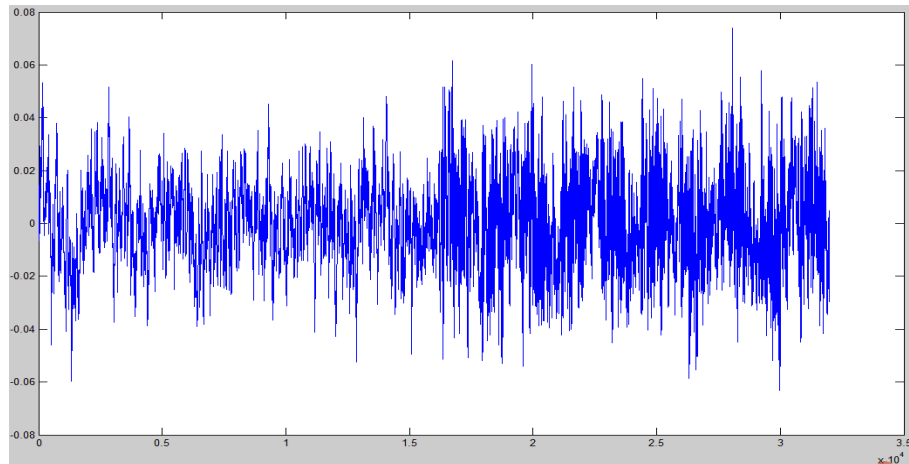
Şekil 5.2.'de görüldüğü gibi ses dosyaları sayısal tablolara dönüştürülebilmektedir. Beş, on ve iki elemanlı mikrofon dizilerinde giriş sinyalleri elde edildikten sonra uygun gecikme uygulandıktan sonra sinyaller toplandığı zaman daha kuvvetli ve anlaşılır yeni bir sinyal elde edilmesinde sıkıştırılmış dosya

formatlarının aksine wav dosya formatı sorunsuz bir şekilde çalışmaya imkân tanımaktadır.

	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0.0024	0.0022	0.0024	0.0031	0.0032	0.0034	0.0037	0.0028	0.0027
2	0.0048	0.0049	0.0022	0.0026	0.0041	0.0039	0.0043	0.0036	0.0035
3	0.0072	0.0066	0.0046	0.0056	0.0041	0.0042	0.0057	0.0049	0.0045
4	0.0062	0.0055	0.0066	0.0060	0.0048	0.0047	0.0067	0.0059	0.0065
5	0.0081	0.0075	0.0071	0.0068	0.0063	0.0063	0.0066	0.0052	0.0052
6	0.0081	0.0079	0.0083	0.0076	0.0075	0.0073	0.0078	0.0072	0.0084
7	0.0098	0.0102	0.0092	0.0093	0.0105	0.0103	0.0106	0.0090	0.0099
8	0.0111	0.0097	0.0113	0.0109	0.0122	0.0121	0.0116	0.0100	0.0110
9	0.0129	0.0122	0.0122	0.0116	0.0112	0.0122	0.0139	0.0126	0.0091
10	0.0092	0.0086	0.0146	0.0128	0.0124	0.0121	0.0164	0.0159	0.0096
11	0.0097	0.0104	0.0140	0.0143	0.0129	0.0143	0.0175	0.0145	0.0126
12	0.0109	0.0123	0.0137	0.0132	0.0158	0.0163	0.0168	0.0149	0.0168
13	0.0121	0.0132	0.0125	0.0133	0.0162	0.0173	0.0174	0.0145	0.0171
14	0.0110	0.0126	0.0152	0.0152	0.0162	0.0169	0.0186	0.0164	0.0191
15	0.0144	0.0142	0.0154	0.0155	0.0161	0.0177	0.0208	0.0169	0.0197
16	0.0151	0.0154	0.0174	0.0168	0.0189	0.0184	0.0191	0.0160	0.0196
17	0.0165	0.0173	0.0183	0.0181	0.0185	0.0200	0.0185	0.0149	0.0193
18	0.0172	0.0167	0.0188	0.0182	0.0185	0.0180	0.0169	0.0141	0.0199

Şekil 5.3. Ses sinyalleri sayısal veri tablosu.

Geciktir ve topla uygulamalarında mikrofon dizilerinde eleman sayısı arttıkça daha doğru bir şekilde sinyal geliş açısının hesaplanabilmesinin yanında sinyalin yeniden oluşturulması aşamasında mikrofonların sayısının artışı ile yeniden oluşturulan sinyalin kalitesi doğru orantılıdır. Buna karşın az elemanlı mikrofon dizilerde de kullanılabilir ses sinyalleri elde etmek mümkündür. Geciktir ve topla ile elde edilen sinyallerdeki SGO Şekil 5.4.'de verilen referans mikrofonun SGO ile kıyaslandığında bir aşma olmamıştır. Bu da mikrofon dizilerinin kullanılabilirliğini artıran bir etkidir.



Şekil 5.4. Referans mikrofon.

Geciktir ve Topla Music, Root-Music ve Esprit algoritmalarına göre hataların kolayca fark edilip düzeltilebilmesine imkân tanınmasından dolayı tercih edilebilir bir yöntem olarak gözükmektedir. Geciktir ve topla yönteminde sinyallerin genlik-zaman grafiğinde genlik değerleri sabit bırakılarak mikrofonlara göre zaman üzerinde kaydırma yapmak ve kaydırılmış sinyalleri toplamak uygulaması kolay bir yöntem olduğu kadar, hataların kolayca görülebilmesi ve uyarlanabilir olması önemli özellikler olarak öne çıkmaktadır.

Yeniden sinyalin inşa edilmesi aşamasında önemli olan bir diğer etkende örnekleme frekansıdır. Yüksek örnekleme frekansı kullanıldığı zaman daha büyük bir vektöre sahip olduğu için işlemlerdeki hassasiyet artmaktadır. Örnekleme frekansının gereğinden fazla tutulması ise iş yoğunluğunu artırdığından dolayı bu noktada dengeli bir seçim yapılması gerekmektedir. Çizelge 5.1.'de örnekleme frekansına göre oluşan veri tablosu verilmiştir. 16000 Hz'lik örnekleme frekansı uygulama geliştirmek için yeterli veriyi sağlamaktadır.

Çizelge 5.1.Örnekleme frekansına göre oluşan veri tablosu.

ÖRNEKLEME FREKANSI	VERİ (10 sn.)
16000 Hz	160000
44100 Hz	441000

Lineer mikrofonlar kullanılarak yapılan bu çalışma üç boyutlu FMD kullanılarak geliştirilebilir. FMD uygulamalarında duyarlılığı yüksek mikrofonlar seçmek gerekmektedir. Bu tarz mikrofonların maliyetlerinin yüksek olması FMD ile donanım geliştiriciler için bir engel teşkil etmektedir. Bu nedenle donanımları mikrofon sayıları arttıkça verimliliğin artmasına rağmen olabildiği kadar az mikrofonla tasarlamak daha uygulanabilir bir çözüm olarak kabul edilebilir.

FMD tasarlanırken bir ses kaynağından yayılan sinyalleri tüm mikrofonların alabilmesi önemlidir. Yanlış tasarım sonucu bazı mikrofonların ses kaynağına ulaşamaması gereksiz iş yükü yaratacağı gibi yeniden inşa edilecek sinyalin performansını da düşürebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Başçiftçi, Ç. H., Koç S., Tanık Y., 2007. Geliş Açısının Acık Havada Çok yollu Bir Ortamda GZFPO Yöntemiyle Kestirilmesi. **IEEE Siu'07 Kurultayı**, 11-12 Haziran 2007:1-2, Eskişehir.
- Tamai Y., Kagami S., Amemiya Y., Sasaki Y., Mizoguchi H., Takano T., 2004. Circular Microphone Array For Robot's Audition.
Http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01426228.
- Kozintsev I., Jia Y., Luo Y., Lin Y., 2006. Distributed Microphone Arrays For Digital Home And Office. **Http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1661463&usertype=inst.**
- Fujihara T., Sasaki Y., Kagami S., Mizoguchi H., 2008. Arrangement Optimization For Narrow Directivity And High S/N Ratio Beam Forming Microphone Array.
Http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04716474.
- Tashev I., Seltzer M. L., Acero A., (2005). Microphone Array For Headset With Spatial Noise Suppressor. **Proceedings Of Ninth International Workshop On Acoustic, Echo And Noise Control Iwaenc 2005**, September 12 - 15 2005, Netherlands.
- Smith M. G., Kim K. B., Thompson D.J., 2007. Noise Source Identification Using Microphone Arrays. **Proceedings Of The Institute Of Acoustics**. Vol. 29. Pt.5.
- Wiens T., Bradley S., George K., 2008. Long Range Location Of Wildlife Using Phased Arrays Of Microphones: A Feasibility Study. **37th International Congress And Exposition On Noise Control Engineering**, 26-29 October 2008, Shanghai-China.
- Ravetta A. P., Burdisso A. R., Wing F. N., 2004. Phased Array Technology Development At Virginia Tech: Application To Landing Gear Noise Source Identification. **Meca'Anica Computacional**, Vol. XXIII.
- Kzrtman E.S., Silverman H. F., (1995). A User-Friendly System For Microphone Array Research. **Http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=00479480**
- Birinci I. Y., Leblebicioğlu K., (1995). Mikrofon Dizisi Yerleşiminin Genetik Algoritma İle Optimizasyonu.
Http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=00479480

- Suyama K., Takahashi K., (2003). A Target Sound Extraction Via 2ch Microphone Array Using Phase Information. **Transactions Of The Institute Of Electrical Engineers Of Japan**. Vol 123, P 1271-1276.
- İkiz M., Akın M., Kurt B., Acar H., 2007. Wavelet (Dalgacık Dönüşümü) Ve Yapay Sinir Ağı Kullanarak Ses Sinyallerinden Konuşmacı Tespiti. **Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları**, S 36-38.
- Anonymous, 2005. Utility Of Microphone Arrays.
Http://www.airliners.net/open.file/325625/l/
- Bitzer J., Simmer K., U., Kammeyer K., 2001. Multi-Microphone Noise Reduction Techniques As Front-End Devices For Speech Recognition. **Speech Communication** , 34 : 3-12.
- Rodriguez E., Bass J., Mcpheeters C., Finnigan J., 2005. Limitations To Delay And Sum Beamformer. **Http://cnx.rice.edu/content/m12563/latest/**
- Donohue K., Hannemann J., Dietz H. G., 2007. Performance Of Phase Transform For Detecting Sound Sources With Microphone Arrays in Reverberant And Noisy Environments. *Signal Processing* 87:1677–1691,
Http://www.sciencedirect.com.
- Mumolo E., Nolich M., Vercelli G., 2003. Algorithms For Acoustic Localization Based On Microphone Array In Service Robotics . *Robotics And Autonomous Systems* 42 : 69–88. **Http://www.elsevier.com/locate/robot.**
- Ke F., Liu Y., Wang W., Chen H., 2006. Wall Pressure Fluctuations Of Turbulent Flow Over Backward-Facing Step With And Without Entrainment: Microphone Array Measurement. **Journal Of Hydrodynamics**, 18(4): 393-396.
- Ergen B., Tatar Y., 2005. Dizi İşaret İşleme Teknikleri ile Kalp Sesi Üreten Kaynakların Göğüs Duvarı Üzerinden Yerlerinin Belirlenmesi. **F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 17 (1): 32-41.
- Civelek Y., 2005. **A New Hardware Design For Cardiac Passive Acoustic Localization**. MS Thesis (Published). Boğaziçi University, 53 p, İstanbul.
- Hacıvelioğlu İ., Dinçer H., 2005. Akıllı Anten Sistemlerinde İşaret Geliş Açısı Kestirim Yöntemleri. **II. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu**, Adana.
- Matsumoto M., 2006. **A Study on Miniaturizing Microphone Array Utilizing**

- Aggregated Microphones.** Waseda University Press, 80 p, Tokyo.
- Çontar E., 2007., **Mikrofon Dizilerinde Ses Kaynağının Yerinin Genetik Algoritma Kullanılarak Bulunması.** YL Tezi (Yayınlanmamış), Gazi Üniversitesi, 92 s. Ankara.
- Anonim, 2010.Mikrofon Türleri, <http://www.ary.gen.tr/teknoloji/ses-kontrollu-anahtar.html>
- Anonim, 2010.Mikrofon Türleri,
http://www.silisyum.net/htm/mikrofonlar/elektret_mikrofonlar.htm
- Font M. F.,2005. **Multi-Microphone Signal Processing For Automatic Speech Recognition In Meeting Rooms.** MS Thesis (Unpublished), Berkeley University,125 p. California.
- Cigada A., Ripamonti F., Vanali M. 2007. The delay & sum algorithm applied to microphone array measurements: Numerical analysis and experimental validation. **Mechanical Systems and Signal Processing.** 21:2645–2664.
- Cheney M., 2003. The Linear Sampling Method and the MUSIC Algorithm.
<http://www.rpi.edu/~cheney/papers/music.pdf>
- Rejdemyhr D., 1999. Model Errors in High Resolution Direction Of Arrival Processing in A Radar Application. **Fifth International Symposium on Signal Processing and Its Applications, ISSPA '99.** 22-25 August, Brisbane, Australia.
- Özdemir E., 2008. **Super-Resolution Spectral Estimation Methods For Buried And Through-The-Wall Object Detection.** MS Thesis (Unpublished), Boğaziçi University, 237 p. İSTANBUL.
- Barabell, A.J.,1983. Improving the Resolution Performance of Eigenstructure Based Direction-Finding Algorithms, **Proc.IEEE, Int.Conf.Acoustic.Speech, Signal Processing,** p.336-339.
- Şafak A., Özdem M. S., Karaali S.,2007. WIMAX (IEEE 802.16e) Sistemlerinde Uyarlanırlı Antenler . **3.İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu.** Adana.
- Mathews C.P., Zoltowski M.D., 1994, Eigenstructure Technigues for 2-D Angle Estimation with Uniform Circular Arrays, **IEEE Trans. Signal Proc,** Cilt 42, no:9, s. 2539.
- Roy, R., Kailath, T., 1989. ESPRIT-Estimation of Signal Parameters Via Rotational Information Techniques, **IEEE Transactions on Acoustics,Speech and Signal Processing,** vol.37,no.7.

- Adcock J.E., 2001. **Optimal Filtering And Speech Recognition With Microphone Arrays**. MS Thesis (Unpublished), Brown University, 101 p. Rhode Island.
- Ying Y., 2007. **Distant Talker Labelling for a Conferencing Situation Using Data from a Large Aperture Microphone Array in a Noisy Reverberant Environment**. Phd Thesis (Unpublished), Brown University, 139 p. Rhode Island.
- Elma İ., 2007. **Anten Dizleri Kullanarak Sinyal Kaynaklarının Tespiti**, YL Tezi (Yayınlanmamış), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 69 s. Zonguldak.
- Güner L., Ergenç İ., Sesin Doğası ve Oluşumu,
http://www.jandarma.tsk.tr/kriminal/turkish%20internet/anasayfa/bilarinde_dosyalar/yazilar_dosyalar/bilarinde5.pdf. Tarih: 09.08.2010.
- Valin, J., Michaud, F., Rouat, J., Letourneau, D.,2003. Robust sound source localization using a microphone array on a mobile robot, **International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'2003)** , Las Vegas, 2 : 1228-1233.
- Bracevell R.N., Fourier Transform, İndirildiği tarih : 20.05.2010,
http://www.emo.org.tr/ekler/e0aca891f2a8aed_ek.pdf?dergi=203

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Osmaniye’de doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Osmaniye’de tamamladım. 1991 yılında girdiğim Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Bilgisayar Eğitim Bölümünden 1995 yılında mezun oldum. Eylül 2007 tarihi itibari ile Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim dalında yüksek lisan eğitimine başladım.