

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FPGA TABANLI BİR AKUSTİK KAYNAK KONUMLANDIRMA SİSTEMİNİN
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik – Elektronik Müh. Cenk ALBAYRAK

**HAZİRAN 2011
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FPGA TABANLI BİR AKUSTİK KAYNAK KONUMLANDIRMA SİSTEMİNİN
TASARIMI

Elektrik – Elektronik Müh. Cenk ALBAYRAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"ELEKTRONİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.05.2011
Tezin Savunma Tarihi : 20.06.2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İsmail KAYA

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Cenk Albayrak tarafından hazırlanan

FPGA TABANLI BİR AKUSTİK KAYNAK KONUMLANDIRMA SİSTEMİNİN
TASARIMI

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24/05/2011 gün ve 1406 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/06/2011 tarihinde yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Temel KAYIKÇIOĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail KAYA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ULUTAŞ

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Birçok konumlandırma sisteminin günümüzde kullanılmakta olduğunu görmekteyiz. Özellikle yol bulmak için GPS kullanımı son zamanlarda oldukça yaygınlaşmış ve ayrıca, akustik kaynak konumlandırma ile ilgili olarak, keskin nişancının yerinin tespiti gibi, askeri alanda kullanılabilir konumlandırma çalışmaları da oldukça artmıştır.

Bu çalışmada, akustik kaynak konumlandırma ele alınmıştır. Konu ile ilgili benzetim ve deneysel çalışmalar yapılmış, karşılaştırılmış ve sonuçlar sunulmuştur.

Yüksek lisans tezimde, danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarım boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail KAYA 'ya teşekkürü bir borç bilirim. Yüksek lisans süresince ve halen hiçbir yardımı esirgemeyen hocalarım Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZEN, Arş. Gör. Emin TUĞCU, Arş. Gör. Cemalettin ŞİMŞEK, Arş. Gör. Ayhan YAZGAN, Öğr. Gör. Oğuzhan ÇAKIR 'a ve sevgili arkadaşım Meltem ERBAŞ 'a teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili babam Cemil ALBAYRAK 'a, annem Nalân ALBAYRAK 'a, ağabeyim Cem ALBAYRAK 'a, kuzenlerim Hakan KARPUZ ve Mehmet TURHAL 'a, babaannem Rahime ALBAYRAK 'a, anneannem Nahide SALTİK 'a ve amcam Ahmet ALBAYRAK 'a çok teşekkür ediyorum.

Cenk ALBAYRAK
Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “FPGA Tabanlı Bir Akustik Kaynak Konumlandırma Sisteminin Tasarımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. İsmail KAYA ’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/05/2011

Cenk ALBAYRAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş ve Konunun Kapsamı	1
1.2. Ses	2
1.2.1. Frekans	3
1.2.2. Periyot (Devir Süresi).....	4
1.2.3. Dalga Boyu.....	4
1.2.4. Ses Gücü.....	4
1.2.5. Ses Düzeyi	5
1.3. Yer ve Yön Bulma Yöntemi.....	5
1.3.1. RSS (Receive Signal Strength).....	6
1.3.2. TOA (Time of Arrival).....	7
1.3.3. AOA (Angle of Arrival)	7
1.3.3.1. Üçgenleme Yöntemi.....	8
1.3.4. TDOA (Time Difference of Arrival).....	9
1.3.4.1. TDOA Problemi	10
1.3.4.1.1. Genelleştirilmiş Çapraz- İlinti Yöntemi (GCC)	10
1.3.4.2. TDOA Tabanlı Konumlandırma Problemi.....	11
1.3.4.3. TDOA ve Hiperbol Eğrileri.....	11
1.4. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO)	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25

2.1.	Giriş	25
2.2.	Akustik Kaynak Konumlandırma İçin Kurulan Sistem	25
2.3.	Konumlandırma İçin Yapılan Benzetim Çalışmaları ve Sonuçları	27
2.4.	Konumlandırma İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları.....	36
2.4.1.	TDOA Hesabı İçin Donanım Tasarımı	37
2.4.2.	TDOA Hesabı İçin Yapılan Yazılım Çalışmaları	39
2.4.3.	Konumlandırma İçin Kurulan Sistemin Başarım Analizi	41
3.	SONUÇLAR	45
4.	ÖNERİLER	47
5.	KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

FPGA TABANLI BİR AKUSTİK KAYNAK KONUMLANDIRMA SİSTEMİNİN
TASARIMI

Cenk ALBAYRAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail KAYA
2011, 49 Sayfa

Akustik kaynak konumlandırma ile ilgili, servis robotu uygulamaları, video – konferans uygulamaları ve ayrıca askeri uygulamalara yönelik, keskin nişancının yerinin tespiti ve akustik gözetleme sistemleri gibi çalışmalar da son yıllarda oldukça artmıştır.

Bu tezde, akustik kaynak konumlandırmada yaygın olarak kullanılan ve hassasiyeti yüksek olan TDOA (Time Difference of Arrival, varış zamanı farkı) tabanlı akustik kaynak konumlandırmaya yönelik benzetim ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak literatürde mevcut olan analitik (zorlanmış) yöntem gerçekleştirilerek sistemin çalıştığı test edilmiştir. Daha sonra zorlanmış çözüme bir alternatif olarak işlem yükü oldukça az olan PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) algoritması uygulanmıştır.

Çalışmada, akustik kaynaktan çıkan ses bilgisinin algılanabilmesi için dört özdeş elektret mikrofon, analog ses bilgisini bilgisayara aktarmak için 20 MHz hızında örnekleme yapabilen ADC (*AD9201*) ve USB cihazı (*CY7C68001*), Xilinx firmasının Spartan 2E ailesinden FPGA ‘yi ile VHDL dilinde donanım tasarımı yapılarak kontrol edilmiştir. Böylece mikrofonlarda algılanan akustik ses bilgisi bilgisayara aktarılmıştır ve Genelleştirilmiş Çapraz – İlinti Yaklaşımı (GCC) kullanılarak her iki mikrofon arasında oluşan TDOA bilgileri hesaplanmıştır. Her iki mikrofon arasındaki TDOA bilgileri kullanılarak hiperbol eğrileri çizilmiştir ve sonuçta, akustik kaynağın konum bilgisini veren bu hiperbollerin kesişim noktasının hesabı analitik (zorlanmış) yöntem ve PSO algoritması ile yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akustik kaynak konumlandırma, Mikrofon dizileri, TDOA, Konuşmacının konumun bulunması

Master Thesis

SUMMARY

IMPLEMENTATION OF AN ACOUSTIC SOURCE POSITIONING USING FPGA

Cenk ALBAYRAK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical-Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assist. Prof. İsmail KAYA
2011, 49 Pages

Researches about acoustic source positioning have been increased past few years such as service robot applications, video – conference applications and military based applications like sniper positioning and acoustic watching.

In this thesis TDOA which is commonly used in acoustic source positioning and has high sensitivity method based simulations and experiments have been performed. For an acoustic source positioning process firstly the system tested and passed with the analytic (forced) method which is already present in the literature. Then the solution performed with PSO algorithm has lot less process complexity as compared with present analytic (forced) methods. By this thesis we had a new iterative approach to TDOA based acoustic source positioning.

In this study, four identical microphone for sensing the sound waves, ADC (AD9201) which has 20 MHz sampling rate for converting the analog sound information to digital, are used. For data acquisition and signal processing, a VHDL coded Xilinx brand Spartan 2E family FPGA with (CY7C68001) USB chip for transferring the digital sound data to computer is used. Acoustic sound signals taken by the microphones have been transferred to the computer and TDOA values have been calculated between the two microphones by using Generalized Cross-Correlation Approach (GCC). Hyperbola curve has been drawn amid to these two microphones by using the TDOA information between the microphones. The conjunction point calculation of hyperbola curves for all microphone peers, which gives the acoustic source position, has been made by using both analytic (forced) method and PSO algorithm.

Key Words: Acoustic source positioning, Microphone arrays, TDOA, PSO Learning, Time processing, cross correlation

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. İki mikrofon kullanılarak akustik kaynağın yönünün tespiti.....	1
Şekil 2. 20 ile 20kHz frekans alanında meydana gelen genel sesler	3
Şekil 3. Frekans, dalga boyu ve sesin yayılma hızı arasındaki ilişki.....	4
Şekil 4. Ses güçleri ve ses gücü düzeyleri	5
Şekil 5. AOA bilgisinin (θ açısının) özdeş iki mikrofon kullanılarak hesaplanması	8
Şekil 6. Üç özdeş mikrofondan oluşan bir akustik kaynak konumlandırma sistemi	9
Şekil 7. Genelleştirilmiş Çapraz – İlinti Yöntemi Blok Diyagramı	11
Şekil 8. TDOA ve hiperbol eğrileri	12
Şekil 9. Kartezyen koordinat sistemine göre (-2,6) koordinatındaki akustik kaynak için oluşan hiperbol eğriler	15
Şekil 10. Kartezyen koordinat sistemine göre (5,1) koordinatındaki akustik kaynak için oluşan hiperbol eğrileri.....	16
Şekil 11. PSO algoritmasının akış şeması	19
Şekil 12. PSO algoritmasındaki parçacıkların başlangıç değeri için çözüm uzayına dağıtılması	20
Şekil 13. (24) 'denklemindeki (x,y) değerlerinin kestiriminde kullanılan PSO algoritması için yineleme sayısı – kestirim hatası grafiği.....	21
Şekil 14. (24) 'denklemindeki (x,y) değerlerinin kestiriminde kullanılan PSO algoritmasındaki parçacıkların başlangıç değerlerinin daha geniş bir alanda belirlenmesi	22
Şekil 15. (24) 'denklemindeki (x,y) değerlerinin kestiriminde kullanılan PSO algoritması için, parçacıkların başlangıç değerlerinin daha geniş bir çözüm uzayında dağıtılması durumundaki yineleme sayısı – kestirim hatası grafiği.....	23
Şekil 16. Gerçeklenen akustik kaynak konumlandırma sisteminin Kartezyen koordinat sisteminde gösterimi	26
Şekil 17. Konumlandırma sisteminde kullanılan elektret mikrofon.....	27
Şekil 18. Gerçeklenen benzetim çalışmasının blok şeması	28
Şekil 19. a ve b, 1600 m ² 'lik bir alanda ve Kartezyen koordinat sistemine göre sırasıyla (0, -2), (2, 0), (0, 2), (-2, 0) koordinatlarına yerleştirilmiş dört mikrofon ile kurulan konumlandırma sisteminde, ses kaynağının değişik konumlarında yapılan konumlandırma hataları başarımı	30

Şekil 20. a ve b TDOA hesabındaki hassasiyete göre, 1600 m ² 'lik bir alanda ve Kartezyen koordinat sistemine göre sırasıyla (0, -2), (2, 0), (0, 2), (-2, 0) koordinatlarına yerleştirilmiş dört mikrofon ile kurulan konumlandırma sisteminde yapılan ortalama konumlandırma hatasının değişimi	31
Şekil 21. 0.64 km ² 'lik alanda ve Kartezyen koordinat sistemine göre sırasıyla (0,-4), (4,0), (0,4), (-4,0) koordinatlarına yerleştirilmiş dört mikrofon ile kurulan konumlandırma sisteminde, ses kaynağının değişik konumlarında, ortalama 7, 95 ns hata ile hesaplanmış TDOA bilgileri kullanılarak yapılan konumlandırma kestirimindeki mesafe hataları	33
Şekil 22. a ve b, TDOA hesabındaki hassasiyete göre, 0.64 km ² lik bir alanda ve Kartezyen koordinat sistemine göre (0,-4), (4,0), (0,4), (-4,0) koordinatlarına yerleştirilmiş dört mikrofon ile kurulan konumlandırma sisteminde, yapılan ortalama konumlandırma hatasının değişimi.....	34
Şekil 23. TL072C kullanılarak tasarlanan dört kanallı ses yükselteci	37
Şekil 24. Konumlandırmada kullanılan FPGA geliştirme kiti.....	38
Şekil 25. TDOA tabanlı akustik kaynak konumlandırma için kurulan sistem	38
Şekil 26. a) Filtre girişindeki ses bilgisinin genliğinin zamanla değişimini b) Filtre çıkışındaki ses bilgisinin genliğinin zamanla değişimi.	39
Şekil 27. TDOA hesabı için C# programlama dilinde yazılan arayüz programı.....	40
Şekil 28. Kartezyen koordinat sistemine göre sırasıyla (0,-1), (1,0), (0,1), (-1,0) Koordinatlarına yerleştirilmiş dört mikrofon ile kurulan konumlandırma sisteminde, ses kaynağının (1,6), (2,6), (3,6), (1,7), (2,7), (3,7), (1,8), (2,8) ve (3,8) koordinatlarında, ortalama 90 µs zaman hatası ile hesaplanmış TDOA bilgileri kullanılarak yapılan konumlandırma kestirimindeki ortalama mesafe hataları	43

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. (24) 'deki denklemin çözümünde kullanılan PSO algoritması için, ilk yedi Yinelemedeki gbest ve kestirim hatası değerleri.....	21
Tablo 2. (24) 'deki denklemin çözümünde kullanılan PSO algoritmasındaki parçacıkların başlangıç değerlerinin daha geniş bir çözüm uzayında belirlendiği durumda, ilk yedi yinelemedeki gbest ve kestirim hatası değerleri	23
Tablo 3. Kurulan akustik kaynak konumlandırma sisteminde konumlandırma hesabında yapılan mesafe ve yön hataları	42

SEMBOLLER DİZİNİ

ADC	: Analog Dijital Dönüştürücü
α	: İşaretin Geliş Açısı
AOA	: Varış Açısı
AWGN	: Toplanır Beyaz Gürültü(Additive White Gaussian Noise)
c	: Sesin yayılma Hızı
C	: Derece cinsinden sıcaklık
c_1	: Öğrenme Faktörü
c_2	: Öğrenme Faktörü
cm	: Santimetre
C#	: Nesnel Tabanlı Programlama Dili
D_M	: Alıcılar arası mesafe
D_R	: Kaynak ile alıcılar arasındaki mesafe
D_L	: Kaynak ile alıcılar arasındaki mesafe
d	: Mikrofonlar Arası Uzaklık
d_1	: Kaynak ile Birinci Mikrofonlar Arası Uzaklık
d_2	: Kaynak ile İkinci Mikrofonlar Arası Uzaklık
dB	: Desibel
f	: Frekans
FPGA	: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri
g_{best}	: Küresel En İyi
GCC	: Genelleştirilmiş Çapraz – İlinti Yaklaşımı
GPS	: Küresel Yer Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
gr	: Gram
$h(d,t)$: Kanalın Birim Vuruş Tepkesi
Hz	: Hertz
Kgr	: Kilogram
KHz	: Kilohertz
km	: Kilometre
k	: Benzetim Adım İndeksi
LOS	: Direkt Görüş (Line of Sight)

M	: Mikrofon Sayısı
m	: Metre
ms	: Milisaniye
Mbps	: Megabit / saniye
n	: Nano
$n(t)$: Toplamsal Gürültü Gücü
P	: Ortalama Güç Yoğunluğu
p	: Akustik Basınç
$pbest$: Parçacığın Uygunluk Değeri
PSO	: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
RSS	: Alınan İşaret Gücü
ρ	: İlinti Değeri
R_1	: Birinci Mikrofonun Konumu
R_2	: İkinci Mikrofonun Konumu
R_3	: Üçüncü Mikrofonun Konumu
SP	: Spektrumu Yaklaşımı
SWL	: Ses Gücü Düzeyi
s	: Saniye(Second)
sn	: Saniye
$s(t)$: Gönderilen İşaret
T	: Periyot
TDOA	: Varış Zamanı Farkları
$TDOA_{12}$: Birinci ile İkinci Mikrofon Arasındaki Varış Zamanı Farkı
$TDOA_{13}$: Birinci ile Üçüncü Mikrofon Arasındaki Varış Zamanı Farkı
$TDOA_{14}$: Birinci ile Dördüncü Mikrofon Arasındaki Varış Zamanı Farkı
$TDOA_{23}$: İkinci ile Üçüncü Mikrofon Arasındaki Varış Zamanı Farkı
$TDOA_{24}$: İkinci ile Dördüncü Mikrofon Arasındaki Varış Zamanı Farkı
$TDOA_{34}$: Üçüncü ile Dördüncü Mikrofon Arasındaki Varış Zamanı Farkı
θ	: Normal ile yapılan açı
TOA	: Varış Zamanı
USB	: Universal Serial Bus
VHDL	: Yüksek Hızlı Tümlleşik Devreler İçin Donanım Tanımlama Dili
v_i	: i. Parçacığın Hızı

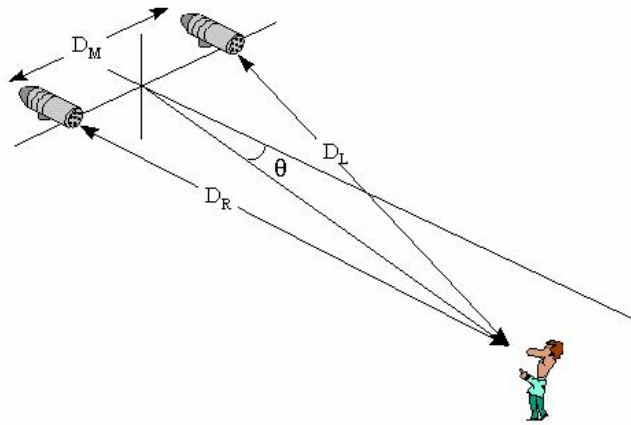
V_{ses}	: Sesin ortama bağlı olarak yayılma hızı
x_i	: i. Parçacığın Konumu
(x,y)	: Ses Kaynağının Konumu
(x_1,y_1)	: Birinci Mikrofonun Konumu
(x_2,y_2)	: İkinci Mikrofonun Konumu
(x_3,y_3)	: Üçüncü Mikrofonun Konumu
(x_4,y_4)	: Dördüncü Mikrofonun Konumu
W	: Watt
W_0	: Referans Ses Gücü Düzeyi
λ	: Dalga Boyu
μs	: Mikrosaniye

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş ve Konunun Kapsamı

Yer ve yön bulma yöntemleri günümüzde birçok alanda kullanılmakta ve bu konudaki araştırmalar hızla artmaktadır. Servis robotu uygulamalarında: özellikle insan – robot arasındaki akustik haberleşmede [1], GPS'lerle uydu gören her yerde yolumuzu bulmada, güncel video – konferans uygulamalarında (otomatik video – kamera yönlendirmede) [2,3], uzaktan bağlantılı toplantılar ve akustik gözetleme sistemleri [4] gibi daha birçok alanda bu yöntemler aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda askeri uygulamalarda da konumlandırma yöntemleri çok büyük önem kazanmıştır [5].

Ses dalgalarının dairesel bir şekilde yayılması nedeniyle, aynı ses kaynağından çıkan herhangi bir sesin, farklı ses işareti alıcılarına aynı nitelikte fakat farklı zaman dilimlerinde ulaştığı bilinmektedir. Bir ses kaynağının uzaydaki konumu, ses işaretinin bu özelliğinden faydalanılarak birden fazla ses alıcısından alınan verilere bağlı olarak hesaplanabilir [3].



Şekil 1. İki mikrofon kullanılarak akustik kaynağın yönünün tespiti [3].

Şekil 1' de bir ses kaynağından çıkan sesin iki farklı ses alıcısı (mikrofon) ile alındığı görülmektedir. Burada D_M , alıcılar arasındaki, D_R ve D_L 'de kaynak ile alıcılar arasındaki mesafe ve θ normal ile yapılan açı olmak üzere, böyle bir sistemde kaynaktan çıkan sesin alıcılara varış zamanları arasındaki fark hesaplandığında ($TDOA$ olsun), θ açısı,

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{V_{ses} * TDOA}{D_M} \right) \quad (1)$$

denklem 1 ile hesaplanır [3], [5-7]. Bu denklemde V_{ses} , sesin ortama bağlı olarak yayılma hızıdır.

Sesin alıcılara varış zamanları arasındaki fark bilgisi ve bu bilgi kullanılarak akustik kaynağın yön ve konum bilgileri literatürde mevcut olan çeşitli yöntemlerle hesaplanabilecek düzeye gelmiştir. Bu nedenle, ilk olarak sesin ne olduğunu ve özelliklerini, bundan sonraki aşamada da konumlandırma işleminde kullanılan yaklaşım ve yöntemleri iyice kavramak, akustik kaynak konumlandırmayı yapabilmek ve geliştirebilmek için oldukça önemlidir.

1.2. Ses

Ses, fiziksel olarak bir basınç altında elastik bir ortamdaki parçacıkların yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Titreşim olarak belirtilen bu olayın insan kulağında yarattığı etkiler insanın sesi algılaması olarak görülebilir. Bir enerji olarak açıklanan ses, ortamın özgül ağırlığına, esnekliğine ve koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Sesin bir noktadan ötekine iletimi için elastik bir ortamın varlığı gereklidir [8].

Maddesel görüşe göre, işitme sınırları dışında da ses, her zaman için evrende var olan, ancak şiddet ve frekansı çeşitli malzemelere çarparak yansıma veya yutulma yoluyla değişim gösteren, fiziksel ve fizyolojik bir kavramdır.

Sesi tanımlanabilir kılan özellikler, sesin yayılma hızı, frekansı, dalga boyu, periyodu ve şiddetidir. Sesin yayılma hızı (m/sn), çeşitli ortamlarda molekül düzenlerinin farklı olmasından ötürü, malzemenin elastik modülüne (kg/cm^2) ve birim ağırlığına (gr/cm^3) bağlı olarak değişim göstermektedir. Ayrıca sesin yayılma hızı aşağıdaki denklemde de belirtildiği gibi ortamın sıcaklığına da bağlıdır [8,9].

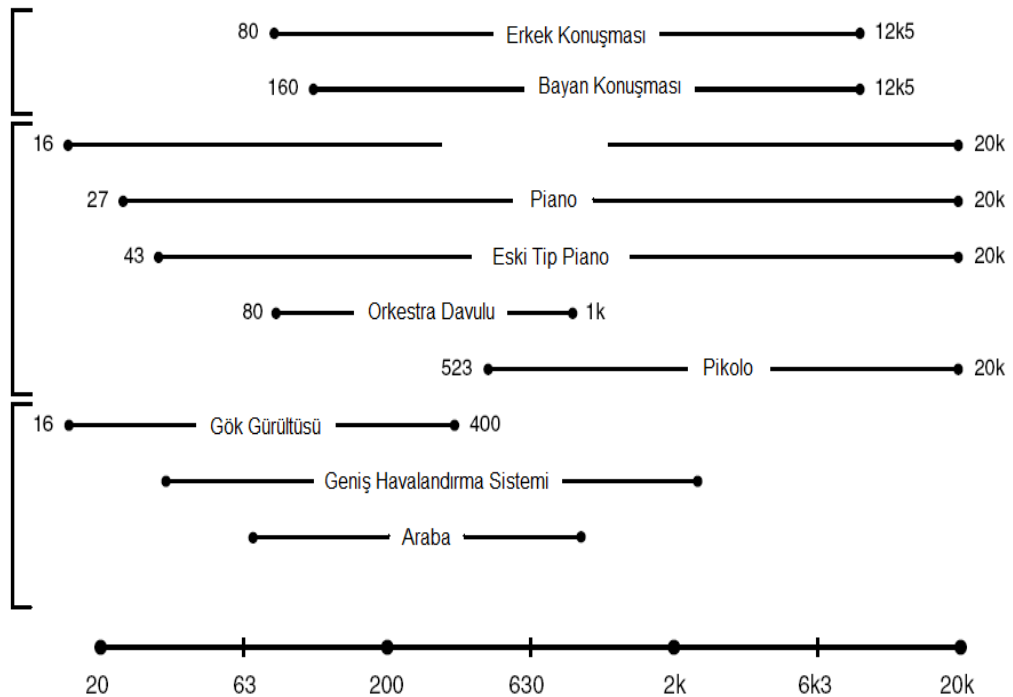
$$\text{Sesin Yayılma Hızı} = 331.4 + 0.607 * C \quad (2)$$

Burada C , derece cinsinden sıcaklığı temsil etmektedir [9].

Bir titreşimde ses alanının iletiildiği ortamın parçacıkları, periyodik hareketler yaparlar. Aksi durumda ses terimi yerine gürültü terimi kullanılır [8].

1.2.1. Frekans

Bir partikülün bir saniyedeki yer değıştirme ve salınımına verilen addır. Frekans “ f ” harfi ile gösterilir. Frekans birimi “Hertz” Hz ‘dir. Frekansı yaklaşık olarak 20 ile 20.000 Hz arasında olan titreşimler insanda işitsel duyulmayı doğurur. Bazı genç insanlar 24 kHz gibi daha yüksek frekansları duyabilirler. Frekansı 20 Hz ve daha küçük olan titreşimler genellikle duyulmaz fakat yeterince güçlü ise hissedilebilir [10]. Şekil 2 ‘de 20 ile 20 kHz frekans bandında oluşan genel sesler gösterilmiştir.



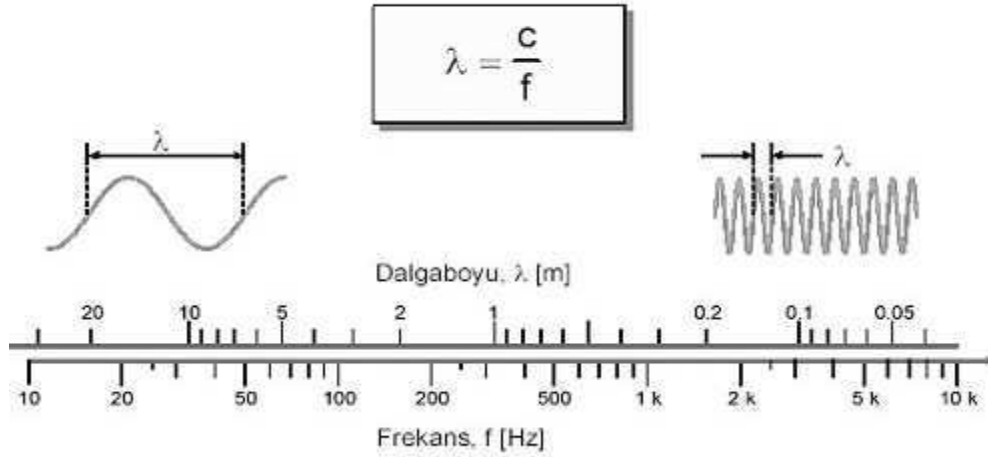
Şekil 2. 20 ile 20kHz frekans alanında meydana gelen genel sesler [10]

1.2.2. Periyot (Devir Süresi)

Bir titreşimin gerçekleşme süresidir. Periyot simgesi “T” harfi, birimi de saniyedir. $T = 1/f$ olarak ifade edilir.

1.2.3. Dalga Boyu

Şekil 3 ‘de “ λ ” harfi ile simgelenen dalga boyu, titreşim hareketinin bir devir süresi boyunca aldığı yol olarak tanımlanır. Birimi metre (m) ‘dir. Dalga boyu, hem titreşim hareketinin özelliklerine, hem de ortamın özelliklerine bağlıdır. Frekans ile ters orantılıdır, dolayısıyla dalga boyu uzadıkça frekans azalır. λ dalga boyunu (m), c sesin yayılma hızını (m/sn) ve f frekansı (Hz) simgelemek üzere şekil 3 ‘de dalga boyunun frekans ve sesin yayılma hızıyla olan bağlantısını görebiliriz.



Şekil 3. Frekans, dalga boyu ve sesin yayılma hızı arasındaki ilişki [8]

1.2.4. Ses Gücü

Sesin kulak tarafından duyulan yüksekliğine sesin şiddeti denir. Bir ses kaynağı, ses gücü yayımlar ve bunun sonucunda ses basıncı oluşur. Kulak tarafından işitilen, ses gücünün yol açtığı ses basıncıdır. Birimi Watt, simgesi de “W” dir. İşitilen ses gücü genelde Watt ya da pikowatt (1 pikowatt = 10^{-12} watt) cinsinden gösterilir [8].

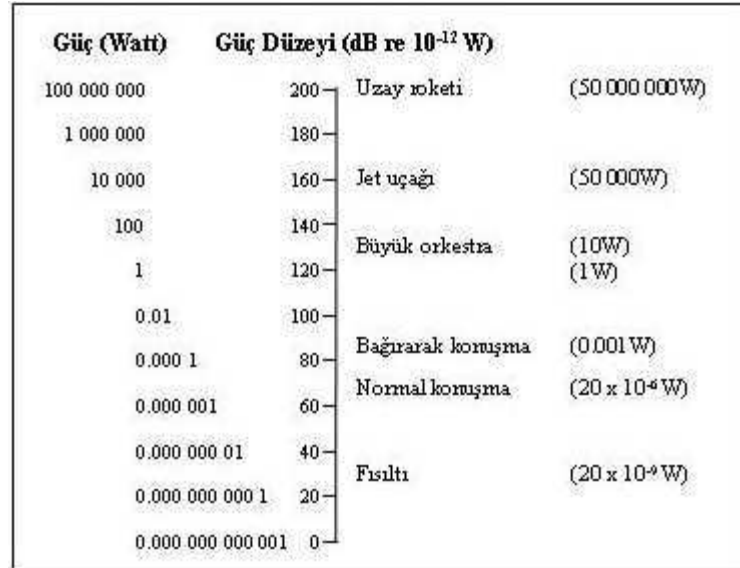
1.2.5. Ses Düzeyi

Tanım olarak düzey, verilen bir büyüklüğün aynı cinsten bir referans büyüklüğe oranının logaritmasıdır.

Kimi durumlarda, ses kaynaklarının güçlerinin, ses gücü düzeyi cinsinden belirlenmesi uygun olmaktadır. Ses gücü düzeyinin simgesi “*SWL*” ve birimi desibel (dB) ‘dir. Bir kaynağın ses gücü düzeyi aşağıda belirtilen denklemde olduğu gibidir [8].

$$SWL = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right) \quad (3)$$

Burada *SWL* ses gücü düzeyi (dB), *W* ses kaynağının ses gücü (Watt), *W₀* referans ses gücü (1 pikowatt veya 10^{-12} watt) dür.



Şekil 4. Ses güçleri ve ses gücü düzeyleri [8]

1.3. Yer ve Yön Bulma Yöntemleri

Literatürde çok farklı konumlandırma yöntemleri olmasına rağmen bu yöntemler aşağıda maddeler halinde sıralanmış olan dört farklı temele dayanmaktadır.

1. RSS (Received Signal Strength), alınan işaretin gücü,
2. TOA (Time of Arrival), varış zamanı,

3. AOA (Angle of Arrival), geliş açısı,
4. TDOA (Time Difference of Arrival) varış zamanı farkı bilgilerinin kestirilmesidir.

1.3.1. RSS (Receive Signal Strength)

Kaynağın yerini, gelen RF işaretin güç seviyelerini kullanarak tespit etme temeline dayanır [8], [11]. Diğer yöntemlere nazaran ucuz ve uygulanması daha kolay olmasına karşın, başarımı direkt görüşün olmadığı ortamlarda düşüktür.

Gönderilen işarete $s(t)$ dersek, çok yollu haberleşme kanalında alınan işaret

$$r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) h(t - \tau) + n(t) \quad (4)$$

olarak modellenir [8], [12]. Burada τ işaretin yayılma gecikmesi, h alıcı – verici arasındaki haberleşme kanalının birim vuruş tepkisi ve n sıfır ortalamalı durağan bir gürültüdür.

Alıcı ile verici arasındaki çok yollu kanalın birim vuruş tepkisi

$$h(t) = \sum_{i=1}^D m_i \delta[t - \tau_i] \quad (5)$$

şeklindedir. Burada m karmaşık değerli rastgele bir kazançtır [12].

Alınan işaretin gücü,

$$P_{RSS} = \int_{-\infty}^{\infty} |r(t)|^2 dt \quad (6)$$

denklemleri ile hesaplanır [8], [12]. Hesaplanan işaret gücü ile mesafe arasında bir ilişki oluşturularak konumlandırma işlemi yapılır.

Görüldüğü gibi bu yöntemde, kanalın birim vuruş tepkisinin doğru bir şekilde elde edilmesi, alınan işaretin gücünün doğru hesaplanması anlamına gelmektedir. Bu nokta, bu yöntemin en büyük dezavantajıdır.

1.3.2. TOA (Time of Arrival)

TOA tabanlı sistemlerde, tüm sistem elemanları arasında, hassas saat senkronizasyonu gereklidir. Böylece kaynaktan çıkan işaretin alıcıya gelmesi beklenen zaman ile gerçekten geldiği zaman arasındaki fark ölçülerek alıcı ile verici arasındaki mesafe hesaplanır. İletim kanalının yayılım hızı biliniyor ve alıcı – verici arasında direkt görüş (Line of Sight, LOS) mevcutsa, bu fark bilgisi doğrudan uçuş süresine bağlıdır ve mesafeyle ilişkilidir [13], [8]. TOA tabanlı en yaygın konumlandırma sistemi GPS ‘dir [14].

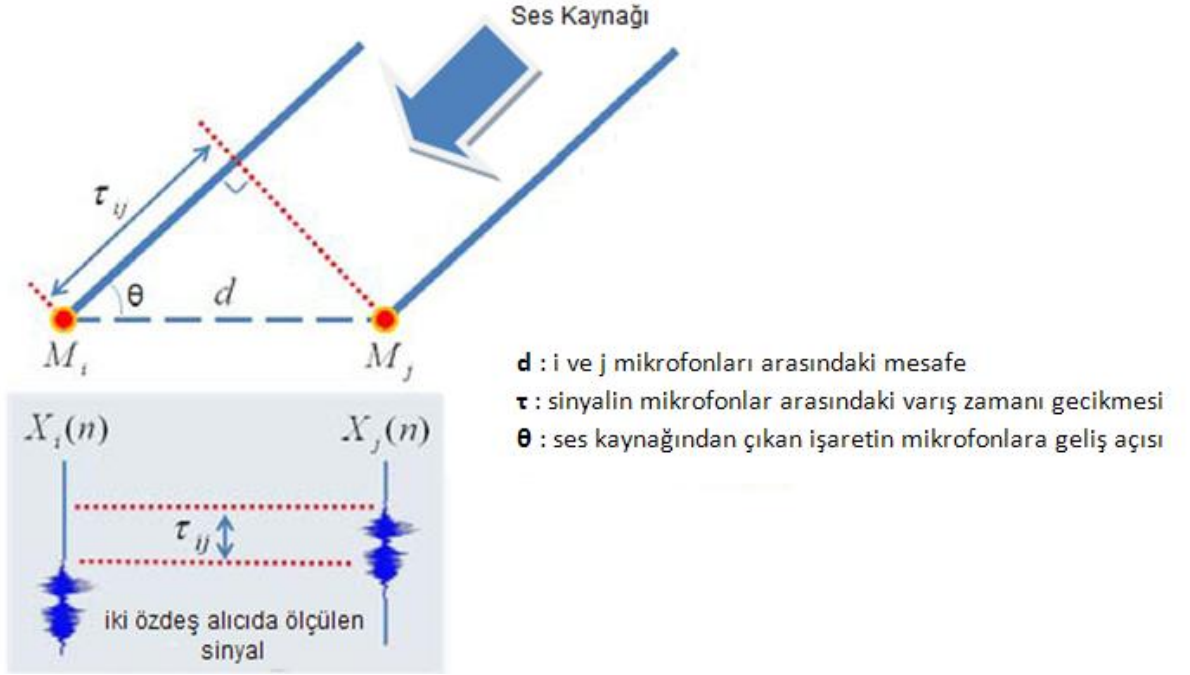
Sistem elemanları arasında hassas saat senkronizasyonunu sağlamak mümkündür fakat bu olay, yüksek donanım masrafları ve sistem sınırlamaları nedeniyle oldukça zor ve maliyetlidir [12].

1.3.3. AOA (Angle of Arrival)

AOA tabanlı konumlandırma, kaynaktan gelen işaretin açısını hesaplayarak kaynağın yerini tespit etme temeline dayanır. Bunun için anten dizisi kullanılmaktadır ki akustik kaynak konumlandırmada anten dizisi yerini tabi ki mikrofon dizisi alacaktır [8], [15].

Bu yöntemde, işaretin kaynaktan alıcılara geliş açılarının hassas bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Çünkü açı hesabında yapılacak küçük bir hata, uzak mesafeler için büyük konumlandırma hatalarına sebep olacaktır.

AOA ve bir sonraki konumlandırma yöntemi olarak ele alacağımız TDOA tabanlı sistemlerde konumlandırma işlemi iki temel adımda yapılmaktadır. Birinci adımda AOA veya TDOA bilgileri hesaplanır ve ikinci adımda ise bu bilgiler kullanılarak daha sonra da ele alınacak olan literatürdeki çeşitli yöntemlerle konumlandırma işlemi gerçekleşir [4].



Şekil 5. AOA bilgisinin (θ açısının) özdeş iki mikrofon kullanılarak hesaplanması [1]

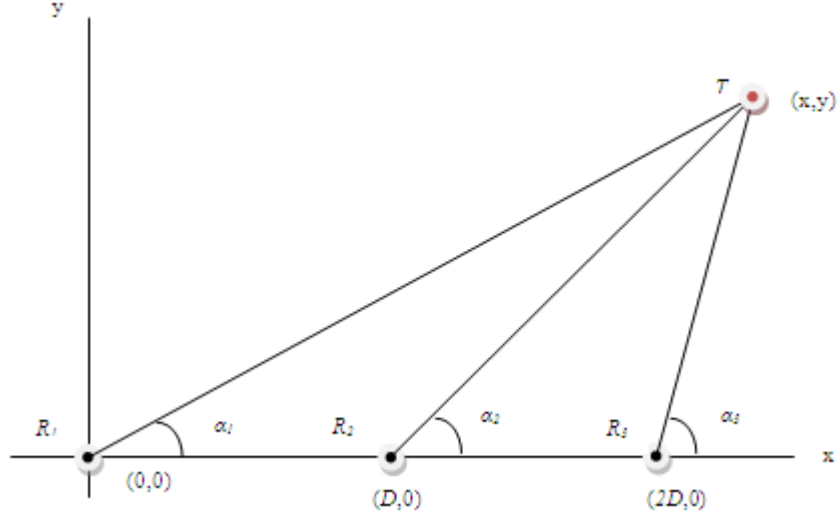
Yukarıdaki şekilde görülen sistemde AOA 'nın hesabı için bir kabul söz konusudur. Ses kaynağının noktasal olmadığı ve kaynağın alıcılara çok yakın olmadığı düşünülürse, ses işaretinin Şekil 5 'teki gibi alıcılara (mikrofonlara) paralel olarak geldiği kabul edilebilir. Bu durumda, eğer τ (işaretin mikrofonlar arası varış zamanı gecikmesi) biliniyorsa, θ işaretin geliş açısı,

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\tau_{ij} c}{d} \right) \quad (7)$$

denklemleri ile hesaplanabilir [1], [3], [5-7]. AOA hesabı denklem 7 ile hesaplandıktan sonra, konumlandırma için *üçgenleme* yöntemi kullanılır [14].

1.3.3.1. Üçgenleme Yöntemi

Bu yöntem, işaretin kaynaktan alıcılara geliş açlarına (AOA bilgilerine) ve trigonometriye dayanmaktadır. Şekil 6 'daki Kartezyen koordinat sisteminde gösterilen R_1 , R_2 ve R_3 üç özdeş mikrofonu ve T 'de akustik bir kaynağı ifade etmektedir.



Şekil 6. Üç özdeş mikrofondan oluşan bir akustik kaynak konumlandırma sistemi

Buna göre yukarıda görülen sistemde, akustik kaynaktan alıcılara gelen ses işaretinin geliş açıları α_1 ve α_2 hesaplanırsa (yani AOA 'lar hesaplanırsa) akustik kaynağın konumunu veren x ve y bilgileri trigonometriden,

$$x = \frac{D \tan(\alpha_2)}{\tan(\alpha_2) - \tan(\alpha_1)} \quad (8)$$

$$y = \frac{D \tan(\alpha_1) \tan(\alpha_2)}{\tan(\alpha_2) - \tan(\alpha_1)} \quad (9)$$

denklemleri ile hesaplanabilir [14]. Buna *üçgenleme* yöntemi denir.

1.3.4. TDOA (Time Difference of Arrival)

Akustik kaynak konumlandırma için çok sayıda yaklaşım önerilmiştir. Bunların içinde en yaygın olan TDOA tabanlı yaklaşım yöntemleridir [4].

TDOA tabanlı akustik kaynak konumlandırma, AOA yönteminde de söz ettiğimiz gibi temel iki adımdan oluşmaktadır. İlk olarak TDOA bilgisi elde edilmeli daha sonraki adımda da bu bilgi kullanılarak kaynağın konumu hesaplanmalıdır. Her iki adım için literatürde mevcut olan çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

1.3.4.1. TDOA Problemi

TDOA, bir kaynaktan çıkan işaretin iki ayrı alıcıya varış zamanları arasındaki fark olarak tanımlanır ve şekil 5 ‘teki sistem için TDOA, i ve j mikrofonlarındaki τ_{ij} zaman gecikmesi bilgisidir.

TDOA hesabı için literatürde mevcut olan Maksimum Olabilirlik Yaklaşımı (ML), Genelleştirilmiş Çapraz – İlinti Yaklaşımı (GCC), Faz İlintisi Yaklaşımı, Çapraz – Güç Faz Spektrumu Yaklaşımı (SP) gibi yöntemler kullanılmaktadır [1], [12], [16]. TDOA ‘nın kestirimi için kullanılan en yaygın ve kullanışlı yöntem *Genelleştirilmiş Çapraz – İlinti* yöntemidir [17].

1.3.4.1.1. Genelleştirilmiş Çapraz – İlinti Yöntemi (GCC)

Akustik bir kaynaktan çıkan işaret $s(t)$ ise, özdeş iki mikrofondan alınan işaretler

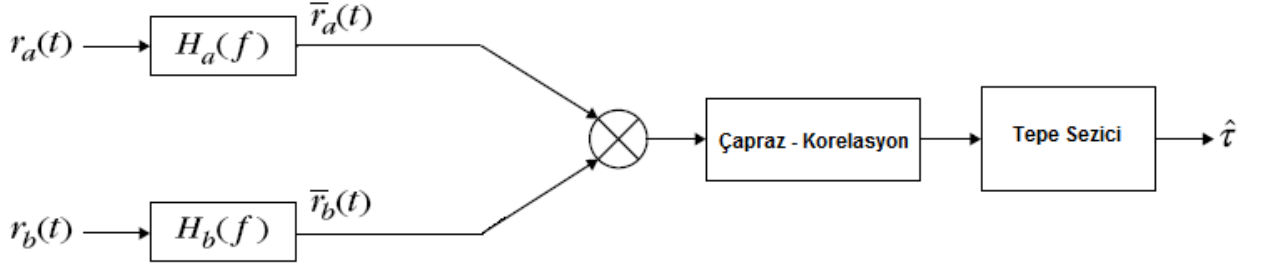
$$\begin{aligned} r_a(t) &= s(t) + n_a(t) \\ r_b(t) &= m * s(t - \tau) + n_b(t) \end{aligned} \quad (10)$$

olarak tanımlanabilir. Burada m kazanç değerini, τ kestirmek istediğimiz varış zamanı gecikmesini (TDOA), n_a ve n_b iki ayrı AWGN (Additive White Gaussian Noise, Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü) gürültüsünü ifade etmektedir [12], [18]. Bu iki işaret arasında çapraz – ilinti yapılırsa,

$$\rho(k) = \frac{1}{T} \int_0^T r_a(t) r_b(t + k) dt \quad (11)$$

elde edilen ρ ilinti değerlerinin en büyük olduğu k . ilinti saptanarak direk olarak τ varış zamanı gecikmesi (TDOA) hesaplanabilir.

Çapraz – İlinti yönteminin daha modern hali olan *Genelleştirilmiş Çapraz – İlinti* yönteminde ise, mikrofonlarda alınan işaretler önce gürültüyü ve yansıyan işaretleri bastırmak amacıyla şekil 7 ‘de görüldüğü gibi filtreden geçirilir, sonra filtre çıkışındaki işaretlere *çapraz – ilinti* yöntemi uygulanır [12], [15], [18].



Şekil 7. Genelleştirilmiş Çapraz – İlinti Yöntemi Blok Diyagramı [12]

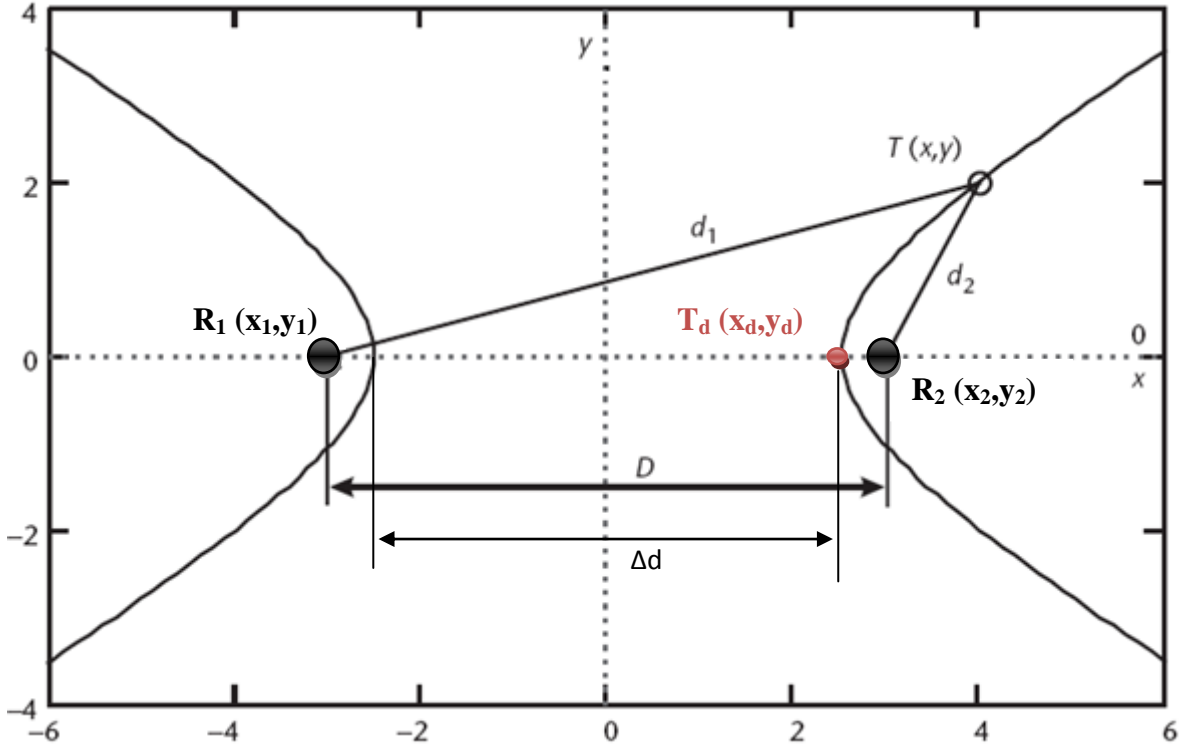
1.3.4.2. TDOA Tabanlı Konumlandırma Problemi

Kapalı ortamlarda akustik kaynağın konumunun belirlenebilmesi, odanın neden olduğu yankılanmalar ve gürültünün etkisinden dolayı zordur. Fakat *mikrofon dizisi* kullanışlı çözüm sunabilen bir tekniktir. TDOA hesabından sonra yapılacak olan işlem *mikrofon dizileri* geometrisi ile akustik kaynağın yerinin tespitidir [2].

Kapalı ortamlarda, ses kaynağından çıkan ses işaretlerinin çevre düzlemlerden yansımaları kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenle böyle bir ortamda TDOA hesaplanırken ilinti grafiğinde birkaç farklı tepe noktası oluşacaktır. Fakat yansıyan ses dalgalarının zayıflaması nedeniyle bu tepe noktalarının genliği gerçek tepe noktasının genliğine göre düşük kalacaktır [3].

1.3.4.3. TDOA ve Hiperbol Eğrileri

Mikrofon Dizisi geometrisini ele almak için Kartezyen koordinat sisteminde y eksenine simetrik olarak yerleştirilmiş iki özdeş R_1 ve R_2 mikrofonlarından oluşan şekil 8 ‘deki konumlandırma sistemini ele alalım.



Şekil 8. TDOA ve hiperbol eğrileri [14]

Hiperbol, sabit olarak konumlanmış iki odağına uzaklıkları farkı sabit olan noktalar kümesi olduğundan, şekil 8 'deki hiperbol eğrisinin odakları R_1 ve R_2 noktaları ise, hiperbol eğrisi üzerindeki herhangi bir $T(x, y)$ noktası için,

$$d_1 - d_2 = \Delta d \quad (12)$$

yazılabilir.

Şekil 8 'de, $T_d(x_d, y_d)$ noktasında bir ses kaynağının olduğunu düşünürsek, 12 numaralı hiperbol denklemindeki Δd , bu ses kaynağından çıkan ses işaretinin R_1 ve R_2 mikrofonlarına varış zamanı farkının (TDOA₁₂), sesin yayılma hızı ile çarpımına eşittir. Bu çarpım değeri, hiperbolun tanımına göre, hiperbol eğrisi üzerindeki her nokta için geçerli olduğundan (12) numaralı denklem,

$$d_1 - d_2 = c * TDOA_{12} \quad (13)$$

olarak en genel haliyle yazılabilir[14], [19-21].

(12) numaralı denklemin hiperbol denklemi olduğunu ispat etmek için d_1 ve d_2 mesafe değerlerini açacak olursak,

$$\begin{aligned} d_1 &= \sqrt{y^2 + \left(x + \frac{D}{2}\right)^2} \\ d_2 &= \sqrt{y^2 + \left(x - \frac{D}{2}\right)^2} \end{aligned} \quad (14)$$

(12) numaralı denklemi, (14) numaralı denklemi kullanarak tekrar düzenlersek,

$$\Delta d = d_1 - d_2 = \sqrt{y^2 + \left(x + \frac{D}{2}\right)^2} - \sqrt{y^2 + \left(x - \frac{D}{2}\right)^2} \quad (15)$$

olacaktır. (15) numaralı eşitliğin her iki tarafının karesini alırsak,

$$\begin{aligned} \Delta d^2 + 2 * \Delta d \sqrt{y^2 + \left(x - \frac{D}{2}\right)^2} + y^2 + \left(x - \frac{D}{2}\right)^2 &= y^2 + \left(x + \frac{D}{2}\right)^2 \\ 2 * \Delta d \sqrt{y^2 + \left(x - \frac{D}{2}\right)^2} &= -\Delta d^2 - \left(x - \frac{D}{2}\right)^2 + \left(x + \frac{D}{2}\right)^2 \\ 2 * \Delta d \sqrt{y^2 + \left(x - \frac{D}{2}\right)^2} &= (2xD - \Delta d^2) \end{aligned} \quad (16)$$

(16) numaralı eşitliğin her iki tarafının karesini alıp tekrar düzenlersek,

$$\frac{x^2}{\frac{\Delta d^2}{4}} - \frac{y^2}{\left(\frac{D^2}{4} - \frac{\Delta d^2}{4}\right)} = 1 \quad (17)$$

denklemini elde edilir ki görüldüğü gibi (17) numaralı bu denklem (18) numaralı hiperbol denklemine eşittir.

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (18)$$

Buna göre, şekil 8 ‘deki R_1 ve R_2 mikrofonlarını hiperbolun odakları ve bu iki mikrofona uzaklıkları farkı değerini de sabit “ $c * TDOA_{12}$ “ olarak kabul edersek, ses kaynağının konumunun, bu değerlerle meydana gelecek hiperbol eğrisi üzerinde bir noktada olacağı kesindir [14], [19-21]. Bu nedenle, şekil 8 ‘deki herhangi bir $T(x,y)$ koordinatında bulunan akustik bir kaynak için (13) ‘deki denklemi tekrar düzenlersek, denklem en genel haliyle,

$$\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} = c * TDOA_{12} \quad (19)$$

şeklinde iki bilinmeyenli (x ve y) doğrusal olmayan bir denklem elde ederiz. Akustik kaynağın konumu, bu denklemi sağlayan (x,y) değerlerinden birisi olacaktır.

Sistemde üç mikrofon olursa, mikrofonlar arasında birbirinden bağımsız üç varış zamanı ($TDOA_{12}$, $TDOA_{13}$, $TDOA_{23}$) değeri hesaplanabilir. Böylece her TDOA için bir hiperbol eğrisi söz konusu olur. Akustik kaynak, bu hiperbol eğrilerinin üzerinde bir noktada olacağından, hiperbollerin kesişim noktası akustik kaynağın gerçek konumunu verecektir [20], [22].

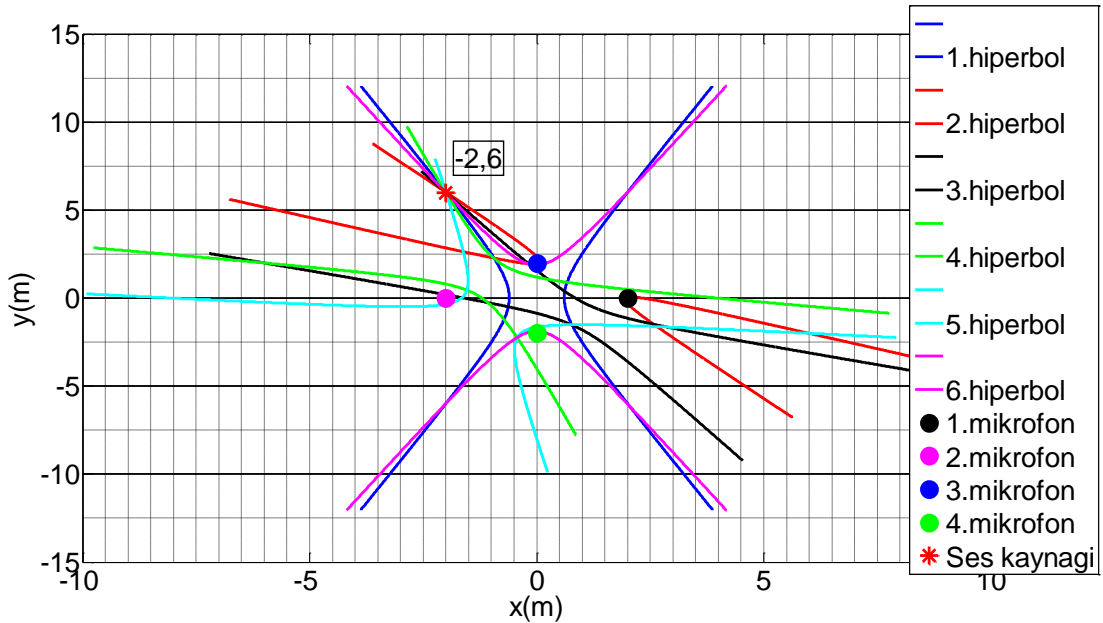
M tane mikrofon bulunduran bir akustik kaynak konumlandırma sisteminde,

$$\frac{M!}{2[(M-2)!]} \quad (20)$$

adet birbirinden bağımsız TDOA değerleri ve eşitlik (19) ‘deki denklem gibi doğrusal olmayan denklemler elde edilecektir [4], [14].

TDOA tabanlı konumlandırma sistemlerinde, TDOA kestiriminden sonra konumlandırma işlemi için doğrusal olmayan kestirim işlemi yapılır [21]. Elde edilen birbirinden bağımsız iki bilinmeyenli doğrusal olmayan denklemi çözebilmek için iki denklemin yeterli olacağı düşünülebilir. Fakat sadece iki TDOA bilgisi kullanılarak elde edilen iki hiperbolun kesişim noktasına bakıldığında, bazı durumlar için bu hiperbollar iki ayrı yerde kesişebilir. Bu nedenle, konumlandırma işlemi için birbirinden bağımsız en az üç TDOA, yani hiperbol eğrisi, kullanılmalıdır [22].

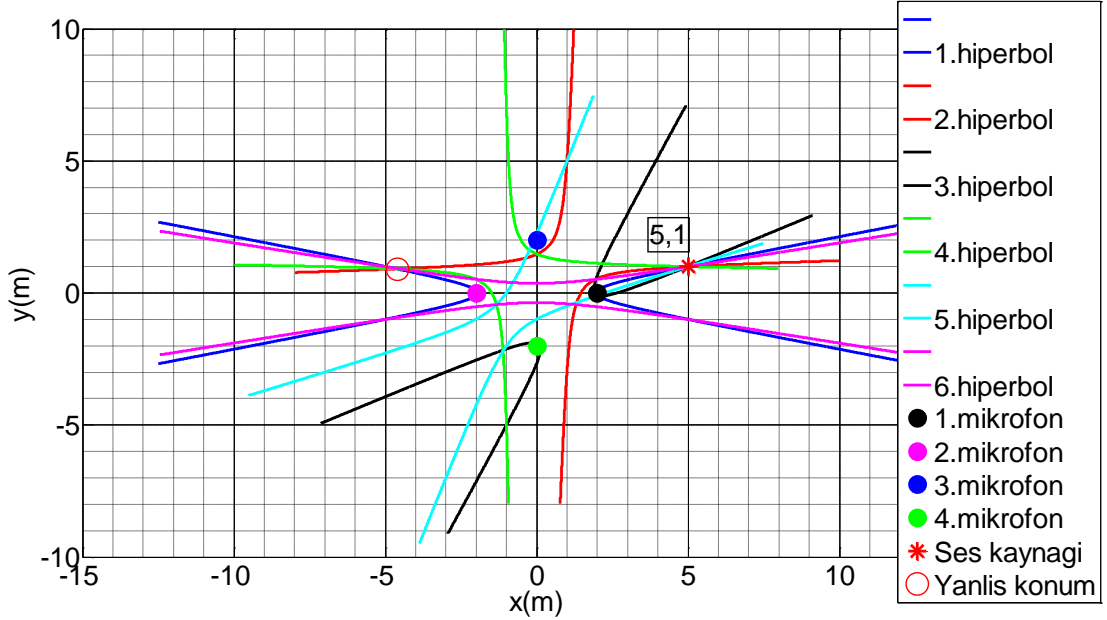
Ses kaynağının konumunun, TDOA değerleri ile (19)'daki gibi oluşturulan hiperbol denklemlerinin kesişim noktasında olduğunu daha iyi görebilmek için iki ayrı örnek ele alınmıştır. Bu örneklerde, ses kaynağının konumunu belli noktaları için, olması gereken TDOA değerleri hesaplanmış ve bu TDOA değerleri için (17) 'daki gibi hiperbol denklemleri oluşturularak hiperbol eğrileri çizilmiştir. Bu örnekler, dört özdeş mikrofonun kartezyen koordinat sistemine göre (2,0), (-2,0), (0,2), (0,-2) konumlarına yerleştirildiği bir konumlandırma sisteminde yapılmıştır. Dört alıcı kullanıldığı için, (20) 'deki eşitliğe göre altı ayrı TDOA bilgisi ve dolayısıyla altı ayrı hiperbol denklemi ve eğrisi söz konusu olacaktır. Birinci örnekte, ses kaynağı, kartezyen koordinat sistemine göre (-2,6) koordinatına yerleştirilerek, mikrofonların ve ses kaynağının bu konumları için oluşacak olan TDOA değerleri hesaplanmıştır. Bu TDOA değerleri ile (20) 'deki eşitliğe göre oluşan altı hiperbol eğrisi şekil 9 'da görülmektedir. Ses kaynağının (-2,6) koordinatında bulunduğu durum için hiperbol eğrilerinin her birinin (-2,6) koordinatında geçtiğini, başka bir deyişle, hiperbol eğrilerinin (-2,6) koordinatında kesiştiğini görmekteyiz.



Şekil 9. Kartezyen koordinat sistemine göre (-2,6) koordinatındaki akustik kaynak için oluşan hiperbol eğrileri

İkinci örnekte ise, ses kaynağı, kartezyen koordinat sistemine göre (5,1) koordinatına yerleştirilerek, mikrofonların ve ses kaynağının bu konumları için oluşacak olan TDOA değerleri hesaplanmış ve (20) 'deki eşitliğe göre oluşan altı hiperbol eğrisi

çizilmiştir. Şekil 10 'da bu hiperbol eğrileri görülmektedir. Ses kaynağının (5,1) koordinatında bulunduğu durum için hiperbol eğrilerinin (5,1) koordinatında kesiştiğini görmekteyiz. Fakat şekil 10 'a dikkat edilirse, altı hiperbol eğrisinin dört tanesi, (-5,1) koordinatı civarındaki bir noktada birbirleri ile kesişmiştir. Eğer bu ikinci örnekte, konumlandırma için, sadece şekil 10 'da (-5,1) koordinatı civarında kesişmiş olan bu dört hiperbol eğrisi kullanılıyor olsaydı, hiperboller iki ayrı koordinatta kesişmiş olacaktı ve ses kaynağının konumunun tespitinde hatalı bir koordinat seçilebilirdi. Fakat bu örnekte dört özdeş alıcı kullanıldığı için altı ayrı hiperbol eğrisi söz konusu olmuştur ve sadece bir noktada kesişmişlerdir.



Şekil 10. Kartezyen koordinat sistemine göre (5,1) koordinatındaki akustik kaynak için oluşan hiperbol eğrileri

Üç alıcının kullanılacağı bir konumlandırma sistemi için hiperbol eğrileri bazı koordinatlarda iki ayrı noktada kesişebilirler. Bu durumun söz konusu olmaması için bu tezde dört alıcı kullanılmıştır.

Görüldüğü gibi, TDOA tabanlı akustik kaynak konumlandırma için asıl problemimiz bu hiperbol eğrilerinin (denklemlerinin) kesişim noktasını bulmaktır. Bu çalışmada hiperbol denklemlerinin kesişim noktasının hesabı için, klasik optimizasyon tekniklerine göre işlem yükü oldukça az olan parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO)

kullanılmıştır. Kestirim sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için, literatürde kullanılan analitik yöntem (zorlanmış çözüm) ‘le de kesişim noktasının hesabı yapılmıştır.

1.4. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO)

Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), kuş sürülerinin davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı istatistiksel optimizasyon tekniğidir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümü için tasarlanmıştır. PSO ‘da parçacık olarak adlandırılan olası muhtemel çözümler, o andaki optimum parçacığa göre güncellenerek problem uzayında dolaşırlar. Bu şekilde PSO, problemin en optimum çözümünü hedefler [23].

PSO ‘nun klasik optimizasyon tekniklerinden en önemli farklılığı türev bilgisine ihtiyaç duymamasıdır [23]. Ayrıca PSO, problemin amaç fonksiyonunun global minimumunu birden fazla olası çözüm ile aradığı için, çözüm kümesinin yerel minimuma yakınsama olasılığı, klasik kestirim tekniklerinden çok daha azdır. PSO ile genetik algoritmanın performansı hemen hemen aynıdır, fakat işlem yükünün oldukça az olması PSO ‘nun uygulanabilirliğini genetik algoritmaya kıyasla çok daha basit kılmaktadır [24].

PSO, bir grup rastgele çözümlerle (parçacık sürüsü ile) başlatılır ve güncellemelerle optimum çözüm bulunmaya çalışılır. Her yinelemede parçacık konumları iki en iyi değere göre güncellenir. Birincisi, o ana kadar parçacığın elde ettiği en iyi çözümü sağlayan koordinatlardır ve “*pbest*” olarak adlandırılır. İkincisi de popülasyonda o ana kadar tüm parçacıklar tarafından elde edilen en iyi çözümü sağlayan koordinatlardır ve “*gbest*” (global en iyi) olarak gösterilir. Örnek olarak D adet parametreden oluşan n adet parçacık olduğunu varsayalım. Bu durumda popülasyon parçacık matrisi eşitlik (21) ‘daki gibidir.

$$x = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1D} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2D} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nD} \end{bmatrix}_{n \times D} \quad (21)$$

Yukarıdaki matriste, i ‘inci parçacık $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}]$ olarak ifade edilir. Önceki en iyi uygunluk değerini veren i ‘inci parçacığın pozisyonu $pbest = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD}]$ şeklinde ifade edilir. $gbest$ ise her yinelemede tüm parçacıklar için tekdir ve $gbest = [p_1, p_2, \dots, p_D]$ şeklinde gösterilir. i ‘inci parçacığın hızı (her boyuttaki konumunun değişim miktarı) $v_i = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD}]$ olarak ifade edilir.

İki en iyi değerin bulunmasından sonra parçacık hızları ve konumları, aşağıda verilen (22) ve (23) ‘deki denklemlere göre güncellenir [23], [24].

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 * rand_1^k * (pbest_i^k - x_i^k) + c_2 * rand_2^k * (gbest^k - x_i^k) \quad (22)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (23)$$

Burada c_1 ve c_2 öğrenme faktörleridir. c_1 , parçacığın, kendi tecrübelerine göre hareket etmesini, c_2 ise sürüdeki diğer parçacıkların tecrübelerine göre hareket etmesini sağlar. Bu algoritma üzerinde araştırmacıların yaptığı denemelerde “ $c_1=c_2=2$ ” olarak almanın iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Fakat farklı da seçilebilir. Genellikle c_1, c_2 ‘ye eşit ve [0,4] aralığında seçilir.

(22) denklemindeki $rand_1$ ve $rand_2$, [0,1] aralığında düzgün dağılımlı rastgele sayılardır. Görüldüğü gibi bu değerler, bazı yinelemelerde adım büyüklüğünü oldukça küçük değerlere indirebilirken, bazılarında da adım büyüklüğünü oldukça arttırabilecektir. Adım büyüklüğünü bu şekilde etkileyen bu düzgün dağılımlı rastgele değerler, herhangi bir parçacığın yerel minimum noktasına takılması durumunda, adım büyüklüğünü rastgele olarak arttırarak o parçacığın yerel minimum noktasından çıkabilmesini sağlar.

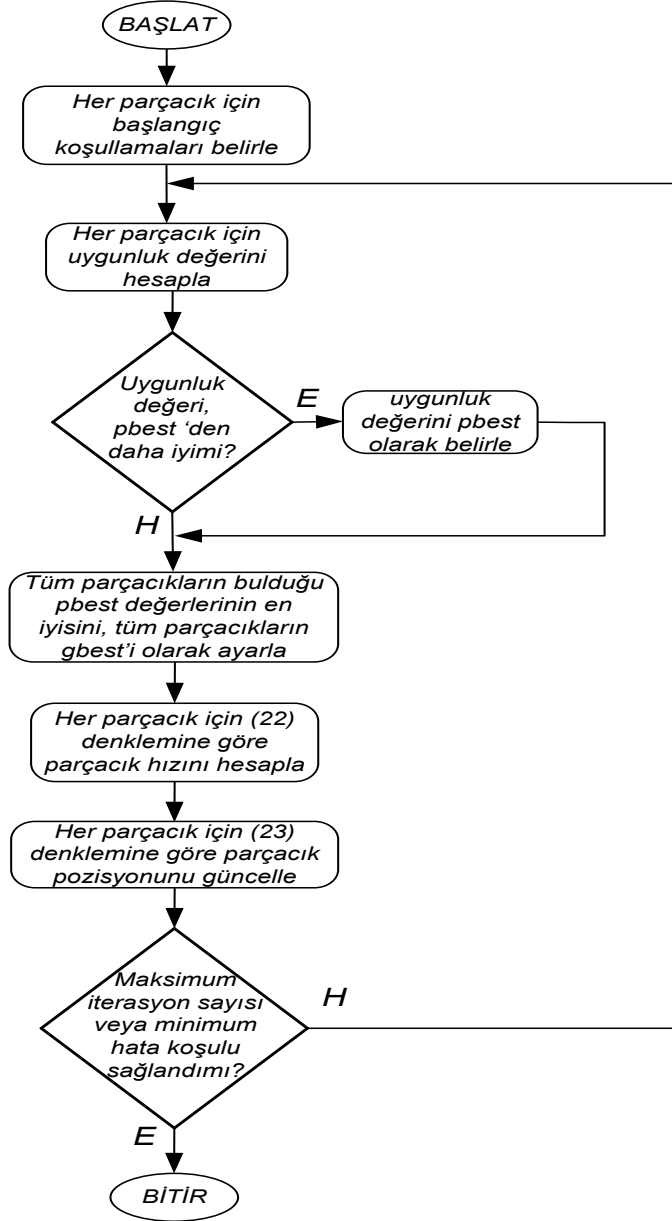
(22) ve (23) numaralı denklemlerdeki “k”, yineleme sayısını belirtmektedir.

PSO algoritmasının kestirim hatası – yineleme sayısı grafiğini bir örnek üzerinden gözlemleyebilmek için, (24) ‘deki lineer olmayan denklem ele alınmıştır.

$$(x - 10)^2 + (y - 15)^2 = 0 \quad (24)$$

(24) ‘deki lineer olmayan denklemdeki (x,y) değerlerini kestirebilmek için kullanılan PSO algoritmasının akış şeması şekil 11 ‘de görülmektedir. (x,y) değerlerinin kestirimi için, PSO algoritması, on adet parçacık ve otuz yineleme ile kullanılmıştır.

İlk olarak, şekil 11 ‘deki akış şemasında da görüldüğü gibi on parçacığa çözüm uzayında ayrı ayrı rastgele başlangıç değeri verilmiştir. Şekil 12 ‘de on parçacığa çözüm uzayı çerçevesinde atanan başlangıç koşulları görülmektedir.



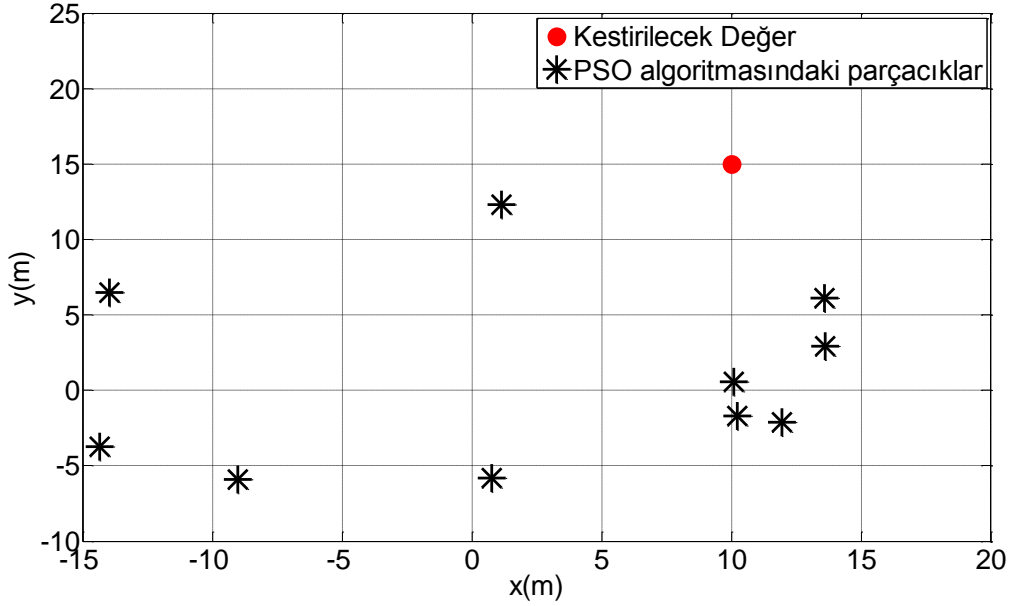
Şekil 11. PSO algoritmasının akış şeması [23]

İkinci adımda ise her bir parçacığın o anki konumu için kestirimde yaptığı hataya, (25) 'deki eşitlik ile bakılır. Bu eşitlikteki x_n ve y_n , n. parçacığın (x,y) değerlerini belirtir.

$$\text{Kestirim hatası} = (x_n - 10)^2 + (y_n - 10)^2 \quad (25)$$

Her parçacığın, o anki yinelemeye kadar yapmış olduğu en küçük kestirim hatası değerini veren (x,y) konumu, o parçacığın uygunluk değeri (pbest) olarak belirlenir. Her parçacık için pbest değeri belirlendikten sonra, bu pbest değerleri içersinden en küçük kestirim

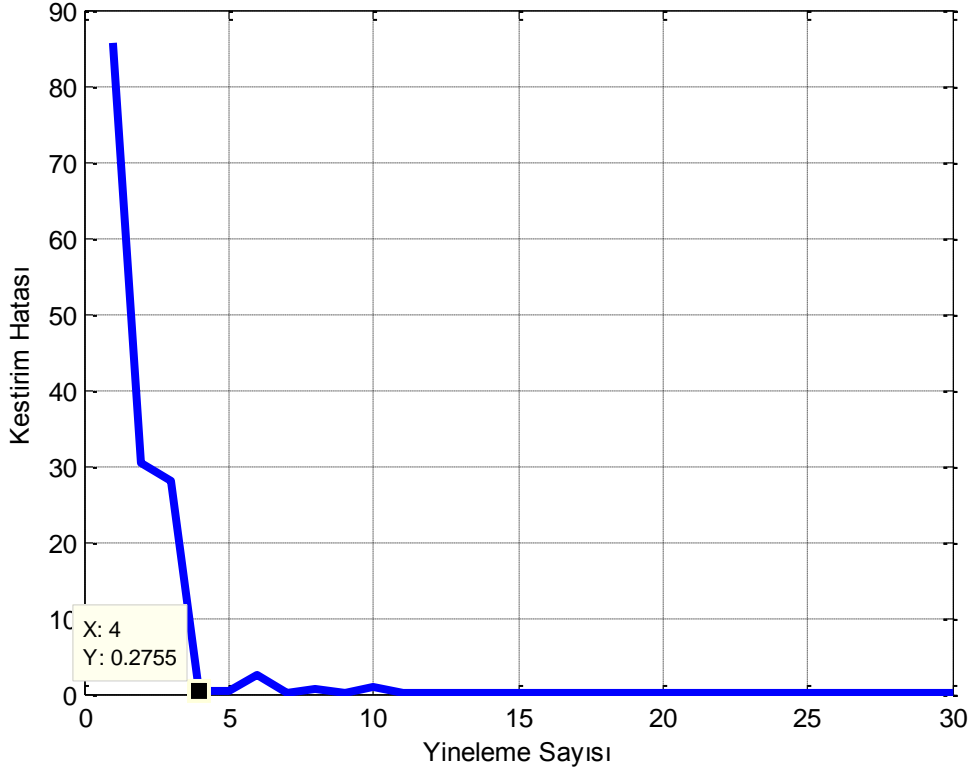
hatası değerini sağlayan (x,y) değeri de parçacıklar arasındaki gbest değeri olarak belirlenir. Bu adımdan sonra, her bir parçacığın bir sonraki yinelemede bulunacağı konum (22) ve (23) 'deki denklemler ile güncellenerek bu şekilde, belirlenmiş olan minimum hata değeri ya da maksimum yineleme sayısına ulaşana kadar aynı işlemler yapılır.



Şekil 12. PSO algoritmasındaki parçacıkların başlangıç değeri için çözüm uzayına dağılımı,

(24) denklemdeki (x,y) kestirimi için PSO algoritması otuz yineleme için işlem yapmıştır ve yineleme sayısı – kestirim hatası grafiği Şekil 13 'de görülmektedir. Tablo 1 'de de, bu problemin çözümündeki ilk yedi yinelemede, PSO algoritmasındaki parçacıkların pbest değerlerinin içinden seçilen gbest değerleri ve kestirim hatası değerleri görülmektedir. Şekil 13 'ü ve Tablo 1 'i incelersek, algoritmanın, daha dördüncü adımda yapılan kestirim hatasını oldukça azaltmış olduğunu görürüz.

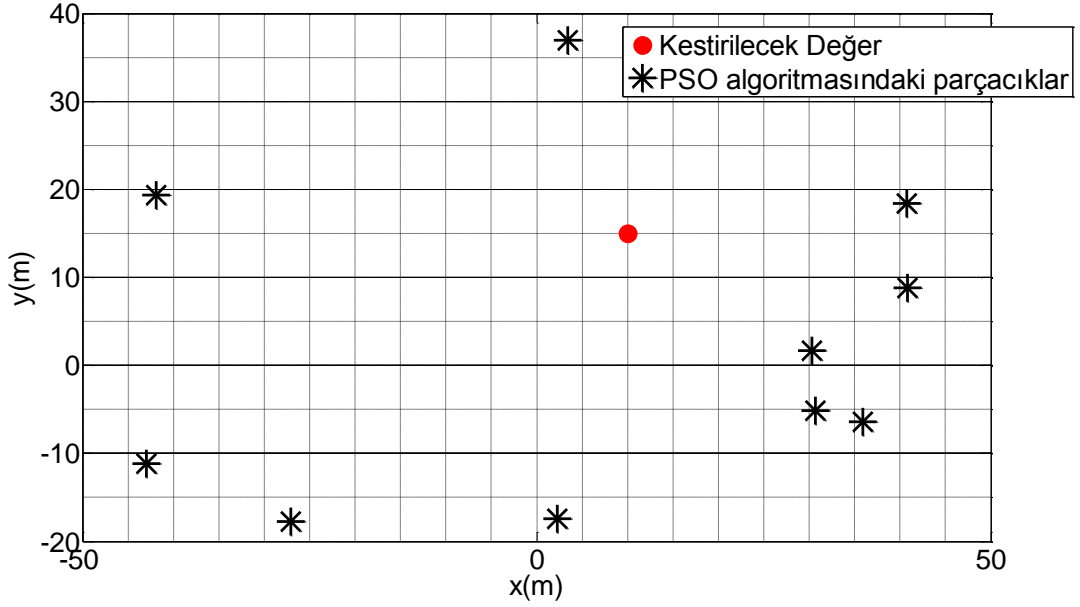
Şekil 12 'den de görüldüğü gibi, (24) 'deki denklemin çözümü için PSO algoritmasındaki parçacıklara atanan başlangıç değerleri, x ve y 'ler için maksimum 15, minimumda -15 sınırları ile belirlenmiştir. Aynı problemin çözümü için kullanılan on parçacığın başlangıç değerlerini, x ve y 'ler için maksimum 43 ve minimum -43 aralığında rastgele olarak belirleyip problemi tekrar çözelim. Şekil 14 'de parçacıkların bu aralıktaki dağılımı görülmektedir.



Şekil 13. (24) 'denklemindeki (x,y) değerlerinin kestiriminde kullanılan PSO algoritması için yineleme sayısı – kestirim hatası grafiği

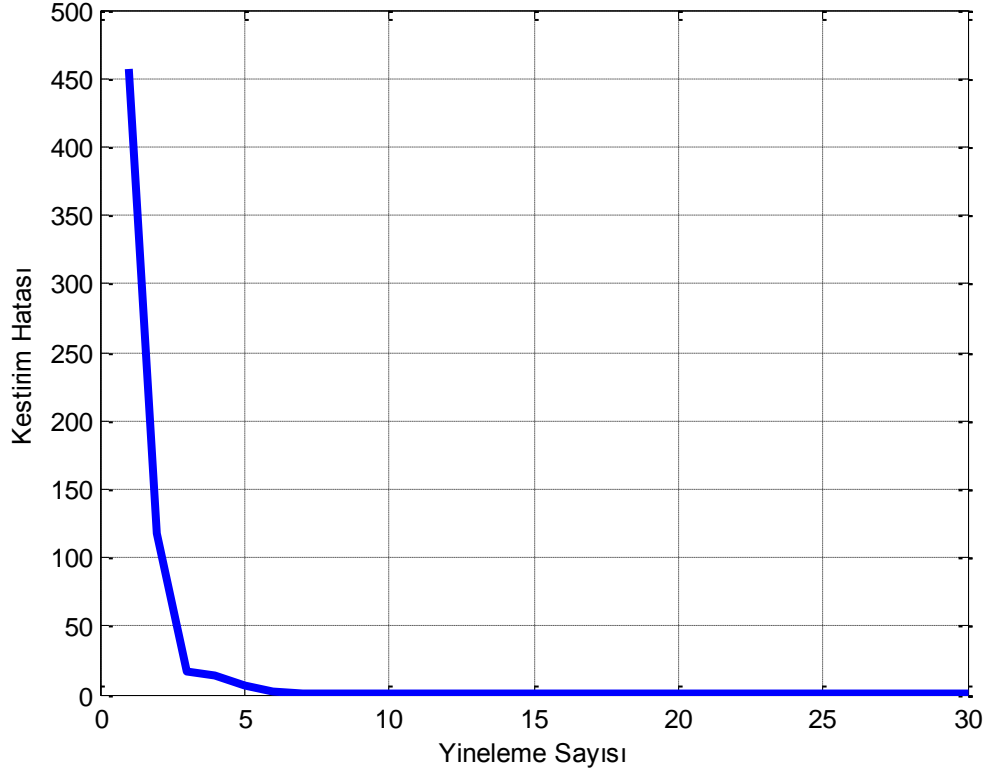
Tablo 1. (24) 'deki denklemin çözümünde kullanılan PSO algoritması için, ilk yedi yinelemedeki gbest ve kestirim hatası değerleri

Yineleme Sayısı	Kestirilen "x" (gbest) Değeri	Kestirilen "y" (gbest) Değeri	Kestirim Hatası
1	1.1490	12.3071	85.5923
2	5.7387	11.5161	30.2962
3	6.2963	11.2065	28.1085
4	9.4939	14.8608	0.2755
5	9.4939	14.8608	0.4882
6	9.4939	14.8608	2.5544
7	10.0589	14.9436	0.0067



Şekil 14. (24) 'denklemindeki (x,y) değerlerinin kestiriminde kullanılan PSO algoritmasındaki parçacıkların başlangıç değerlerinin daha geniş bir alanda belirlenmesi

(24) 'denklemindeki (x,y) değerlerinin kestiriminde kullanılan PSO algoritmasındaki parçacıkların başlangıç değerlerinin, yapılan ilk çözüme göre, şekil 14 'de görüldüğü gibi daha geniş bir alanda belirlenmesi durumundaki yineleme sayısı – kestirim hatası grafiği şekil 15 'de görülmektedir. Tablo 2 'de de, bu problemin çözümündeki ilk yedi yinelemede, PSO algoritmasındaki parçacıkların pbest değerlerinin içinden seçilen gbest değerleri ve kestirim hatası değerleri görülmektedir. Bir önceki duruma göre, başlangıç değerleri daha geniş bir çözüm uzayına dağıtıldığında, (x,y) değerleri daha büyük yineleme sonucunda kestirilebilmiştir.



Şekil 15. (24) 'denklemindeki (x,y) değerlerinin kestiriminde kullanılan PSO algoritması için, parçacıkların başlangıç değerlerinin daha geniş bir çözüm uzayında dağıtılması durumundaki yineleme sayısı – kestirim hatası grafiği

Görüldüğü gibi, PSO algoritmasının daha iyi sonuç verebilmesi için, parçacıkların başlangıç koşullarının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Daha fazla sayıda parçacık kullanılarak da iyi sonuç elde edilebilir fakat parçacık sayısı artarsa, işlem yükü arttırılmış olacaktır.

Tablo 2. (24) 'deki denklemin çözümünde kullanılan PSO algoritmasındaki parçacıkların başlangıç değerlerinin daha geniş bir çözüm uzayında belirlendiği durumda, ilk yedi yinelemedeki gbest ve kestirim hatası değerleri

Yineleme Sayısı	Kestirilen "x" Değeri	Kestirilen "y" Değeri	Kestirim Hatası
1	3.2938	35.2802	456.2610
2	11.5683	25.7410	117.8277
3	7.4350	18.1055	16.2230

Tablo 2 'nin devamı,

4	6.7116	16.6504	13.5373
5	7.9940	16.5641	6.4705
6	8.4378	14.9648	2.4416
7	9.7335	15.4789	0.3004

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Giriş

Bu tezde, akustik bir kaynağın, yön ve uzaklığının kestirimi için benzetim ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ses kaynağının konumu, dört özdeş mikrofon kullanılarak elde edilen varış zamanı farkı (TDOA) bilgileri ve hiperbol denklemleri kullanılarak kestirilmeye çalışılmıştır.

Benzetim çalışmalarında, TDOA bilgilerinin değişik gürültü tabanlarında elde edildiği varsayılarak akustik kaynağın konum tespitinin hangi doğrulukta yapıldığı gözlemlenmiştir. Akustik kaynağın hesaplanmaya çalışılan o anki konumu için aslında, özdeş mikrofonlar kullanılarak elde edilen o anki TDOA bilgileri kullanılarak, (19) numaralı denklemdeki gibi oluşturulan doğrusal olmayan hiperbol denklemlerinin kesişim noktası kestirilmeye çalışılmıştır.

Kestirim işlemi için analitik çözüm ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

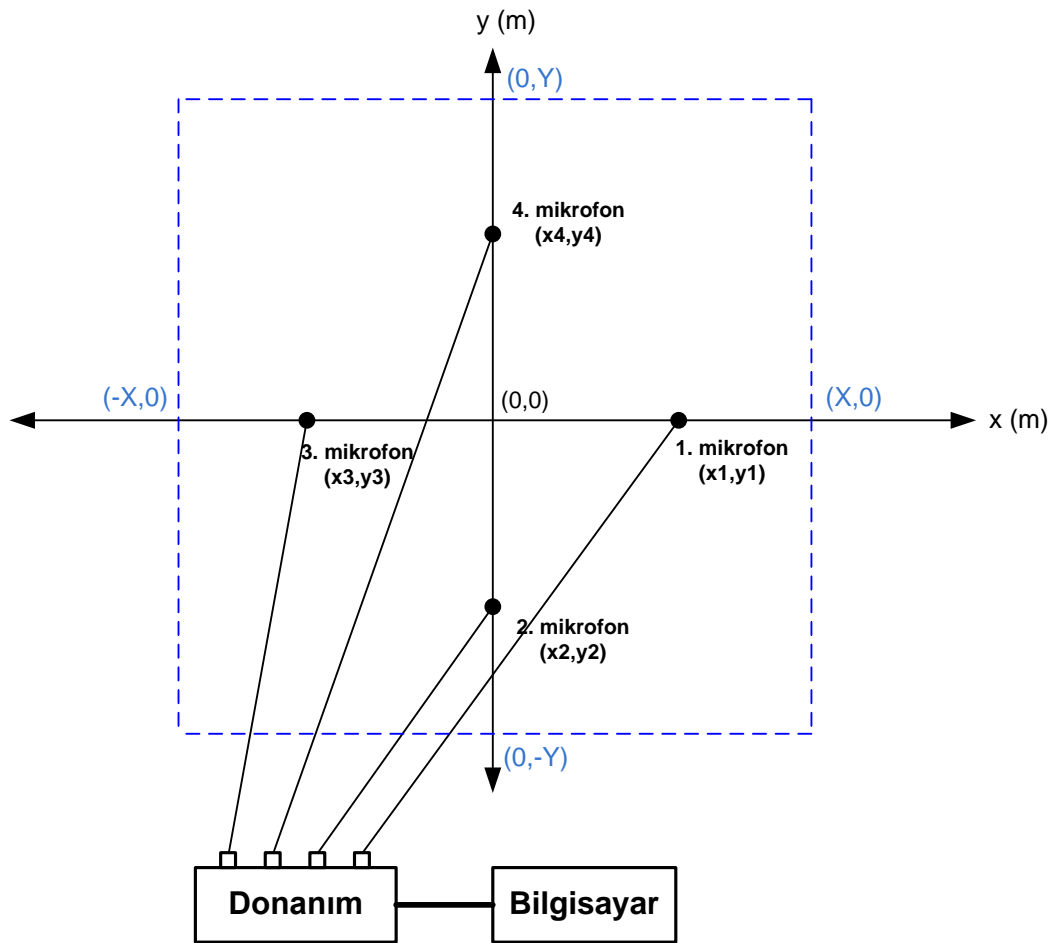
Deneysel çalışmada ise, dört özdeş elektret (kondansatörlü) mikrofon [9], [25] kullanılarak TDOA bilgilerinin ve akustik kaynağın konumunun yeterince hassas ve iyi seviyede hesaplanması hedeflenmiştir.

Bu deneysel çalışmada, mikrofon çıkışındaki bilgiyi kuvvetlendirmek için ses yükseltici tasarımı, özdeş mikrofonlarda alınan ses bilgisini bilgisayarda işleyebilmek için FPGA (Field Programmable Gate Array, Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi) 'de gerekli donanımın tasarımı ve donanımın bilgisayar ile haberleşebilmesi için gerekli olan arayüz programının tasarım çalışmaları yapılmıştır.

Son olarak, deneysel çalışmalarla ölçülen TDOA bilgileri benzetim çalışmaları için hazırlanan yazılımlarda kullanılarak, gerçekleştirilmiş olan konumlandırma sisteminin başarımı değerlendirilmiştir. Bu yazılımlarda analitik çözüm ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılmıştır.

2.2. Akustik Kaynak Konumlandırma İçin Kurulan Sistem

Bu tezde, konumlandırma problemi küçük ve büyük alanlar için ele alınmıştır. Akustik kaynak konumlandırmada mikrofon dizileri kullanılmış olup gerçekleştirilen konumlandırma sistemi, aşağıda Şekil 16 'da da görüldüğü gibi, konumlarını önceden bildiğimiz dört adet özdeş mikrofon (alıcı) ve TDOA bilgilerini hesaplayabilmek için gereken donanımdan meydana gelmektedir.



Şekil 16. Gerçeklenen akustik kaynak konumlandırma sisteminin Kartezyen koordinat sisteminde gösterimi

Kullanılan mikrofonlar kondansatör (kondenser) mikrofonlardır. Mikrofonlardan alınan işaretler benzer olmalıdır ki birbirlerine göre gecikmelerini hesaplanabilsin. Bu nedenle, frekans karakteristiklerinin aynı olması için kullanılan mikrofonların dördü de

birbirinin aynı olarak belirlenmiştir (Spekon KM-1000). Frekans cevabı 20 Hz – 20000 Hz arasında olup bu sistem için yeterlidir. Kondenser mikrofonlar dinamik mikrofonların aksine hassas sesleri algılayabildiği için konumlandırma sisteminde tercih edilmiştir. Kullanılan kondenser mikrofon Şekil 17 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 17. Konumlandırma sisteminde kullanılan elektret mikrofon

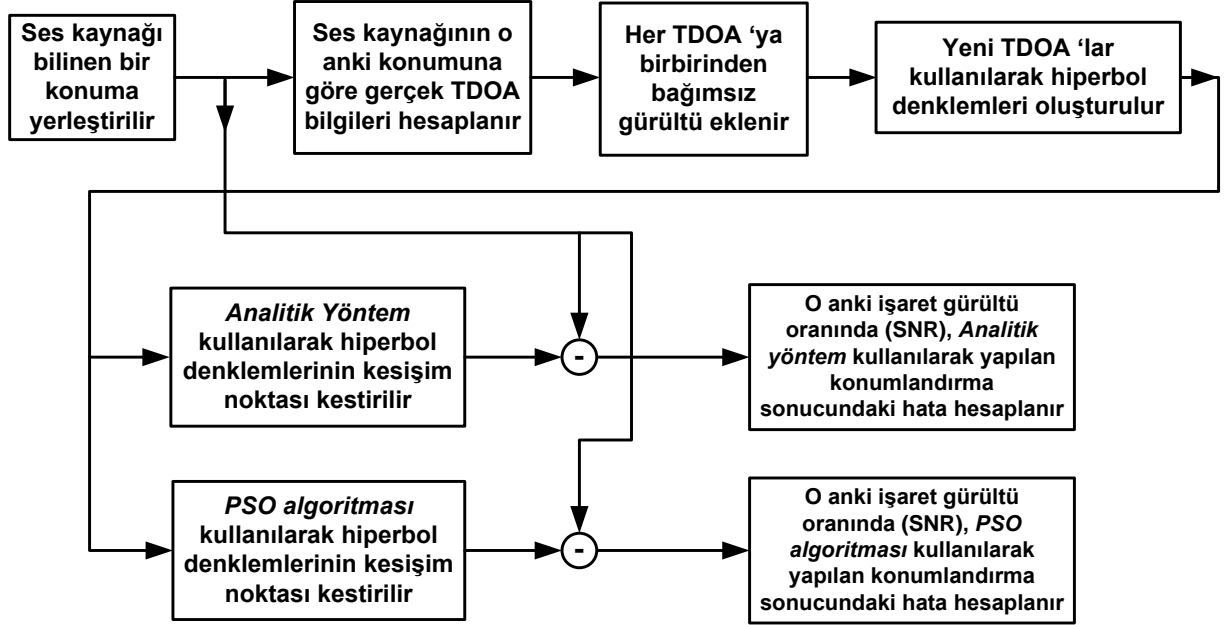
Küçük alan olarak, şekil 16 ‘da gösterilen konumlandırma sistemde $X = 20m$ ve $Y = 20m$, yani $40x40 = 1600 m^2$ ‘lik bir alan ele alınmış olup bu alan üzerinde benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Geniş alan için yapılan benzetim çalışmalarında ise $X = 400m$ ve $Y = 400m$, başka bir deyişle $800x800 = 0.64 km^2$ ‘lik bir alan ele alınmıştır.

2.3. Konumlandırma İçin Yapılan Benzetim Çalışmaları ve Sonuçları

Yapılan Benzetim çalışmalarının blok şeması Şekil 18 ‘de görülmektedir. TDOA bilgilerinin kestirildiği varsayılmış ve bu TDOA bilgilerine değişik seviyelerde gürültü eklenerek yeni TDOA bilgileri elde edilmiştir. Şekil 16 ‘da da görüldüğü gibi konumlandırma sisteminde dört mikrofon (alıcı) kullanılmıştır. O zaman bu sistemde, (20) ‘deki formül kullanılarak altı farklı TDOA bilgisinin meydana geleceği hesaplanabilir.

Şekil 16 'daki sisteme göre TDOA bilgilerini $TDOA_{12}$, $TDOA_{13}$, $TDOA_{14}$, $TDOA_{23}$, $TDOA_{24}$, $TDOA_{34}$ olarak isimlendirirsek,



Şekil 18. Gerçeklenen benzetim çalışmasının blok şeması

oluşacak olan altı farklı hiperbol denklemi,

$$\begin{aligned}
 \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} &= c * TDOA_{12} \\
 \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} &= c * TDOA_{13} \\
 \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - \sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2} &= c * TDOA_{14} \\
 \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} - \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} &= c * TDOA_{23} \\
 \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} - \sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2} &= c * TDOA_{24} \\
 \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} - \sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2} &= c * TDOA_{34}
 \end{aligned} \tag{26}$$

şeklinde olacaktır. Burada c , sesin ortama bağlı olarak yayılma hızını simgelemektedir. Yapılan çalışmalarda ses hızı 344 m/sn olarak hesaba konulmuştur.

Akustik kaynağın konumu, (26) 'daki hiperbol denklemlerini sağlayan herhangi bir (x,y) noktası olacağı için *analitik yöntemde*, ilk olarak bu denklemlerden birinin çözüm kümesi hesaplanır. Bundan sonra, bu çözüm kümesinin (x,y) 'lerden oluşan elemanları diğer hiperbol denklemlerinde yerine konularak kesişim noktası saptanmaya çalışılır.

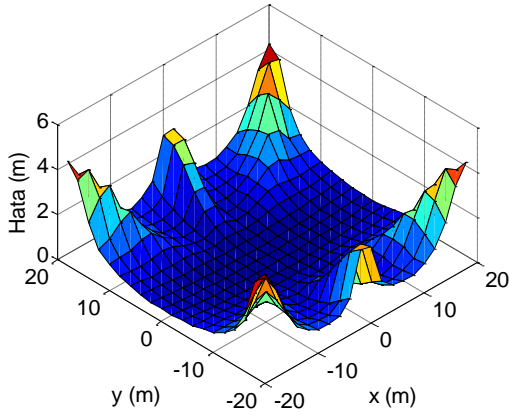
PSO algoritmasında ise, (26) 'daki hiperbol denklemlerinin hepsini sağlayan tek çözüm kümesi (global minimum) iteratif olarak kestirilmeye çalışılır.

Benzetim çalışmalarında, mikrofonların ve akustik kaynağın o anki konumlarına göre olması gereken gerçek TDOA değerleri hesaplanarak, bu TDOA bilgilerine birbirinden bağımsız zaman gürültüsü eklenmiştir. Akustik kaynağın konumunun kestirimi için, bu TDOA bilgileri kullanılarak oluşan hiperbollerin kesişim noktasının hesaplanmasına çalışılır.

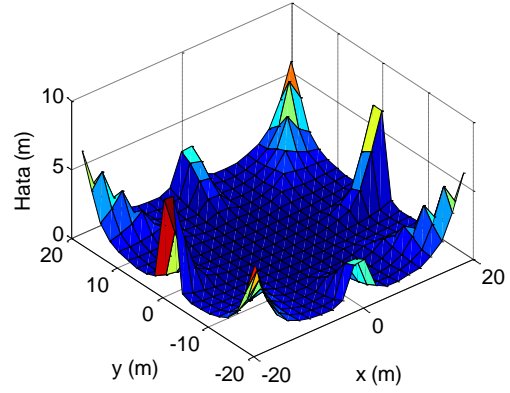
Şekil 19, 20, 21 ve 22 'daki akustik kaynağın konumuna göre konumlandırmada yapılan hatayı gösteren grafikler, mikrofonlar arasındaki TDOA bilgilerinin hesaplanma hassasiyetine göre çizilmiştir. Örnek vermek gerekirse, şekil 19.a 'daki grafikler, TDOA bilgilerinin ortalama olarak $7.98 \mu s$ bir hata ile hesaplandığı durumdaki akustik kaynağın değişik konumlarında, konum kestiriminde yapılan hatayı göstermektedir.

Şekil 19 'de, $1600 m^2$ 'lik bir alanda, TDOA 'ların değişik gürültü seviyelerinde hesaplandığı varsayılarak *analitik yöntem* ve *PSO algoritması* ile akustik kaynağın konumunun kestiriminde, hangi koordinatta ne kadarlık hata yapıldığı görülmektedir. Bu benzetim sonuçları, Şekil 16 'a göre $X = 20$, $Y = 20$ alanında, 1. mikrofon (2,0), 2. mikrofon (0,-2), 3. mikrofon (-2,0) ve 4. mikrofondaki (0,2) konumlarına yerleştirilerek oluşturulan konumlandırma sistemi ve TDOA bilgilerinin ortalama $7.98 \mu s$ 'lık bir hata ile hesaplanmış olduğu durum için elde edilmiş benzetim sonuçlarıdır.

Analitik Yöntem

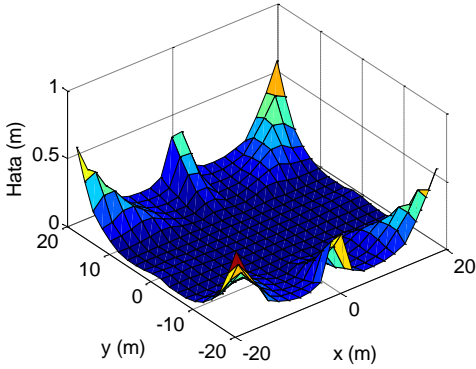


PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) Algoritması

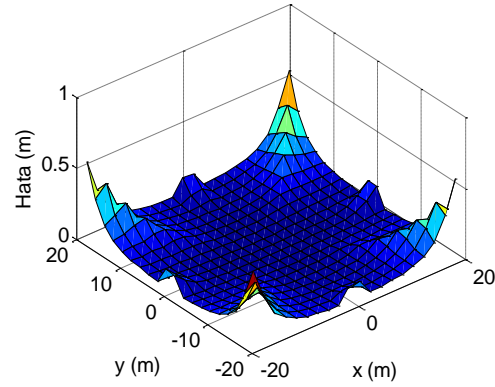


a) TDOA bilgileri ortalama $7.98 \mu\text{s}$ 'lık bir hata ile hesaplanmıştır.

Analitik Yöntem



PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) Algoritması



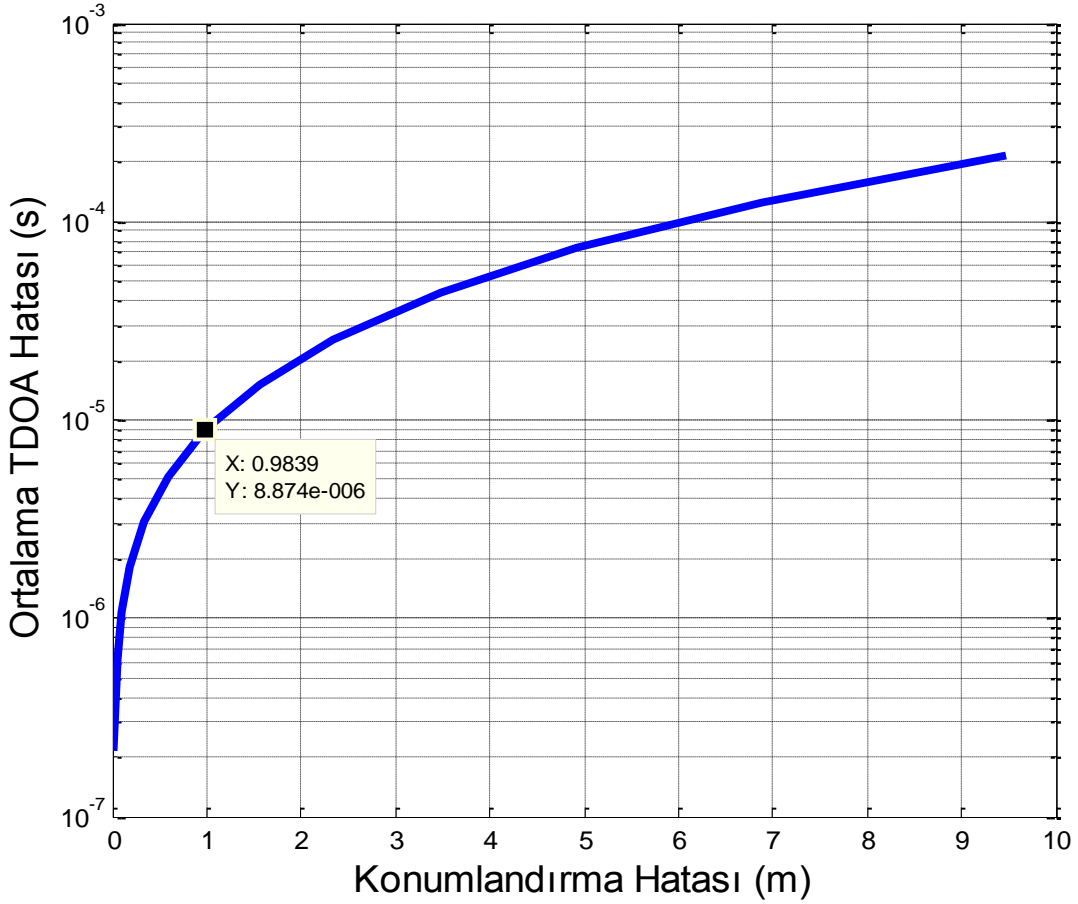
b) TDOA bilgileri ortalama $0.79 \mu\text{s}$ 'lık bir hata ile hesaplanmıştır.

Şekil 19. a ve b, 1600 m^2 lik bir alanda ve Kartezyen koordinat sistemine göre sırasıyla $(0, -2)$, $(2, 0)$, $(0, 2)$, $(-2, 0)$ koordinatlarına yerleştirilmiş dört mikrofon ile kurulan konumlandırma sisteminde, ses kaynağının değişik konumlarında yapılan konumlandırma hataları başarıımı.

Şekil 20 'de aynı sistem için, 1600 m^2 'lık bir alanda TDOA bilgilerinin hesabında yapılan ortalama zaman hatasına göre konumlandırma işleminde yapılan ortalama hatayı gösteren grafikler verilmiştir. Şekil 20 'de görüldüğü gibi, 1600 m^2 'lık alanda, akustik kaynak konumlandırma hesabında yapılan ortalama hatanın 1 metrenin altına düşmesi için *analitik yöntemde* de *PSO algoritmasında* da TDOA bilgilerinin ortalama $8.8 \mu\text{s}$ mertebesinde bir zaman hatasıyla kestirilmiş olması gerekmektedir. Şekil 20 'deki

grafiklerde, analitik yöntemin PSO algoritmasına göre, konumlandırma işleminde, gürültüden daha az etkilendiği görülmektedir. Yani, konum kestirimi için hesaplanan TDOA bilgilerindeki hata miktarındaki artış konumlandırma hatasını, analitik yöntemde, PSO algoritmasına göre, daha az arttırmaktadır. Ayrıca, TDOA hesabında yapılan ortalama hata $8.8 \mu\text{s}$ 'nin altına düştüğü durumlarda, konumlandırma kestiriminde yapılan ortalama hata, analitik yöntemde milimetreler mertebesine kadar düşerken, PSO algoritmasında çok az bir değişim olmakta ve milimetre mertebesine düşmemektedir.

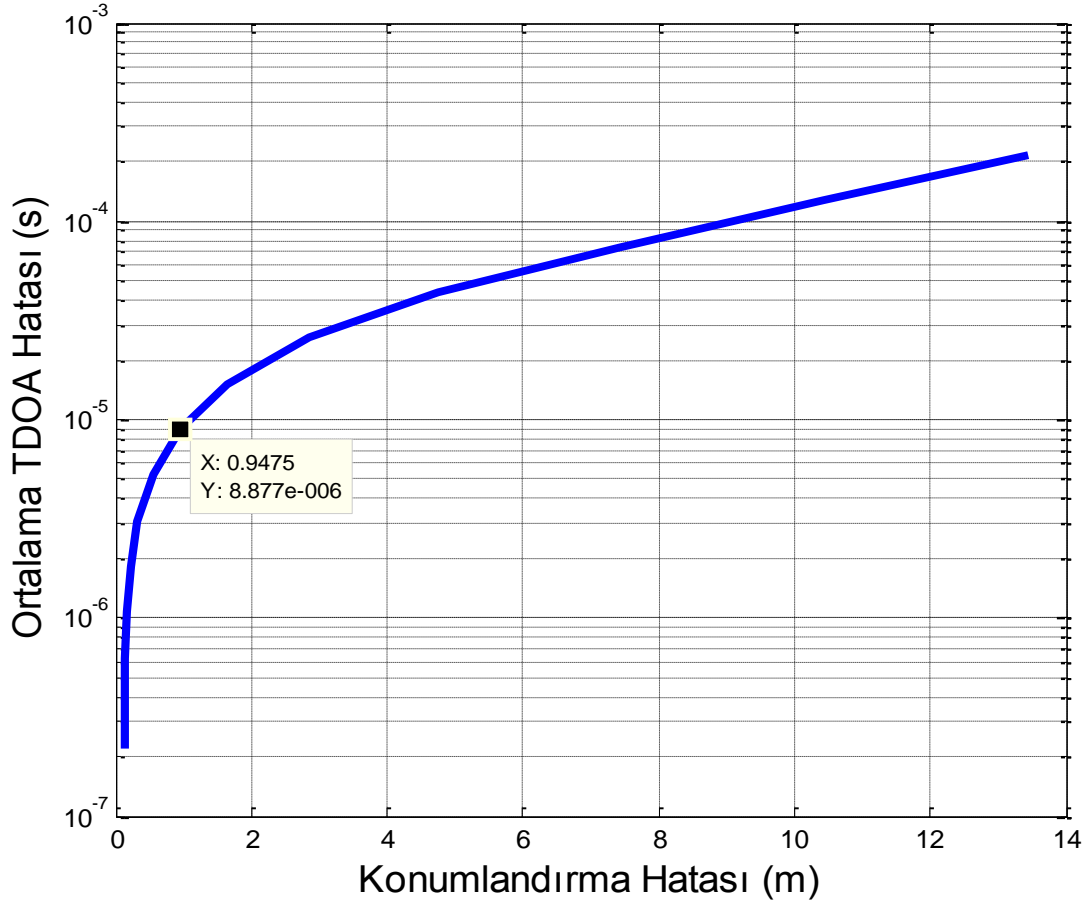
Analitik Yöntem (TDOA Hata – Konum Hata Grafiği)



- a) TDOA hesabında yapılan ortalama hataya göre, analitik yöntemde yapılan konumlandırma kestirimindeki ortalama mesafe hatasının değişimi
PSO Algoritması (TDOA Hata – Konum Hata Grafiği)

Şekil 20. a ve b, TDOA hesabındaki hassasiyete göre, 1600 m^2 lik bir alanda ve Kartezyen koordinat sistemine göre sırasıyla (0,-2), (2,0), (0,2), (-2,0) koordinatlarına yerleştirilmiş dört mikrofon ile kurulan konumlandırma sisteminde, yapılan ortalama konumlandırma hatasının değişimi.

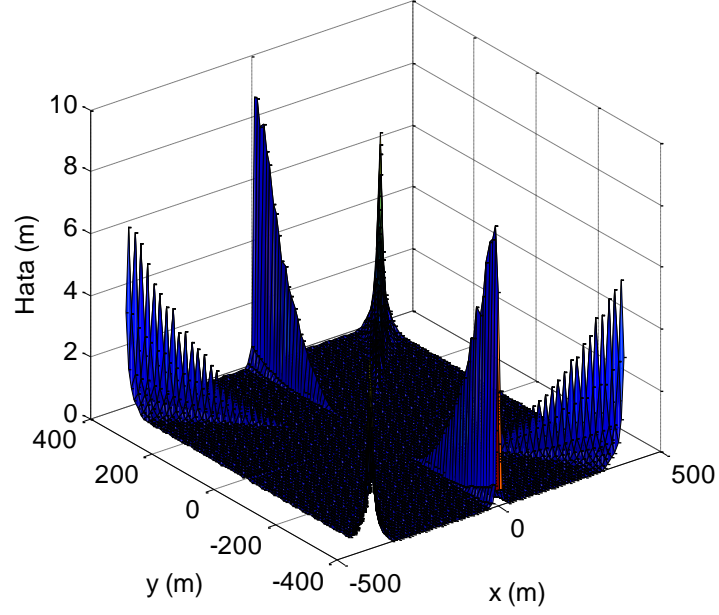
Şekil 20 'nin devamı,



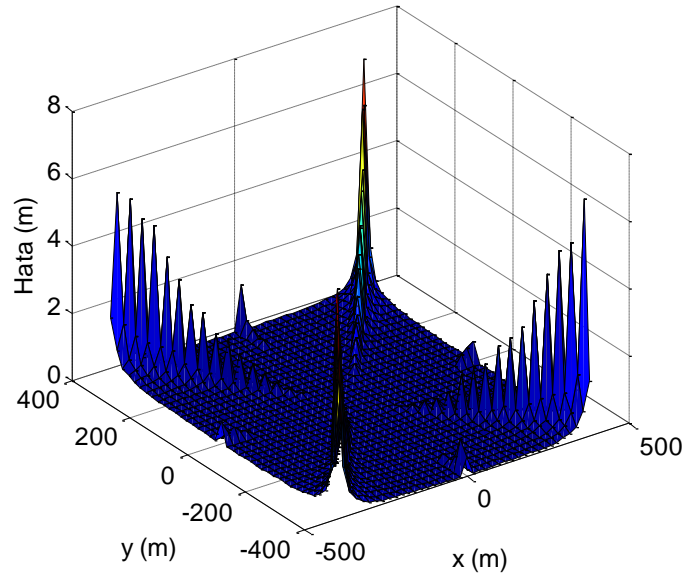
- b) TDOA hesabında yapılan ortalama hataya göre, PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) Algoritmasında yapılan ortalama konumlandırma hatasının değişimi

Şekil 21 'de 0.64 km^2 'lik bir alanda *analitik yöntem* ve *PSO algoritması* için yapılan benzetim çalışmalarının sonuçları görülmektedir. Bu benzetim sonuçları, Şekil 16 'a göre $X = 400m$, $Y = 400m$ alanında, 1. mikrofon (4,0), 2. mikrofon (0,-4), 3. mikrofon (-4,0) ve 4. mikrofon da (0,4) konumlarına yerleştirilerek oluşturulan konumlandırma sistemi ve TDOA bilgilerinin ortalama 7.96 ns (nanosaniye) 'lik bir hata ile hesaplanmış olduğu durum için elde edilmiş benzetim sonuçlarıdır.

Analitik Yöntem



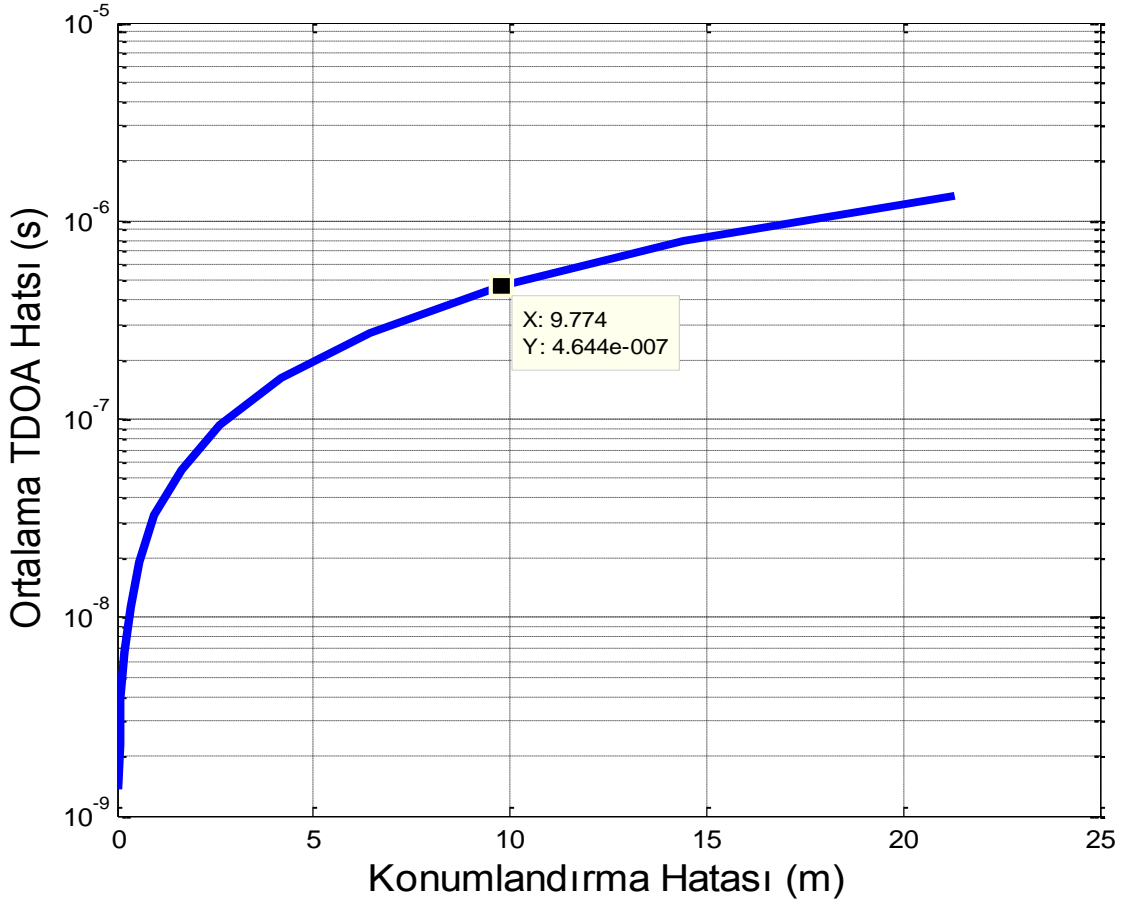
PSO Algoritması



Şekil 21. 0.64 km^2 'lik alanda ve Kartezyen koordinat sistemine göre sırasıyla $(0,-4)$, $(4,0)$, $(0,4)$, $(-4,0)$ koordinatlarına yerleştirilmiş dört mikrofona kurulan konumlandırma sisteminde, ses kaynağının değişik konumlarında, ortalama 7.95 ns hata ile hesaplanmış TDOA bilgileri kullanılarak yapılan konumlandırma kestirimindeki mesafe hataları

Şekil 22 'da da, bu konumlandırma sistemi için hesaplanan TDOA bilgilerinde yapılan ortalama zaman hatalarına göre, 0.64 km^2 'lik bir alan içindeki ortalama mesafe hatasının değişimini gösteren grafikler verilmiştir. Bu alan içinde yapılan ortalama hatanın 10 metrenin altına düşmesi için *analitik yöntemde* TDOA bilgilerinin ortalama olarak 480 ns mertebesindeki zaman hatası ile hesaplanmış olması gerekirken, *PSO algoritmasında* da TDOA bilgilerinin ortalama 180 ns mertebesindeki zaman hatası ile hesaplanmış olması gerekmektedir. Büyük alanda yapılan simülasyon çalışmalarının sonuçlarından da görüldüğü gibi, analitik yöntem PSO algoritmasına göre, TDOA bilgilerinin hesabında yapılan zaman hatasından daha az etkilenmektedir.

Analitik Yöntem (TDOA Hata – Konum Hata Grafiği)

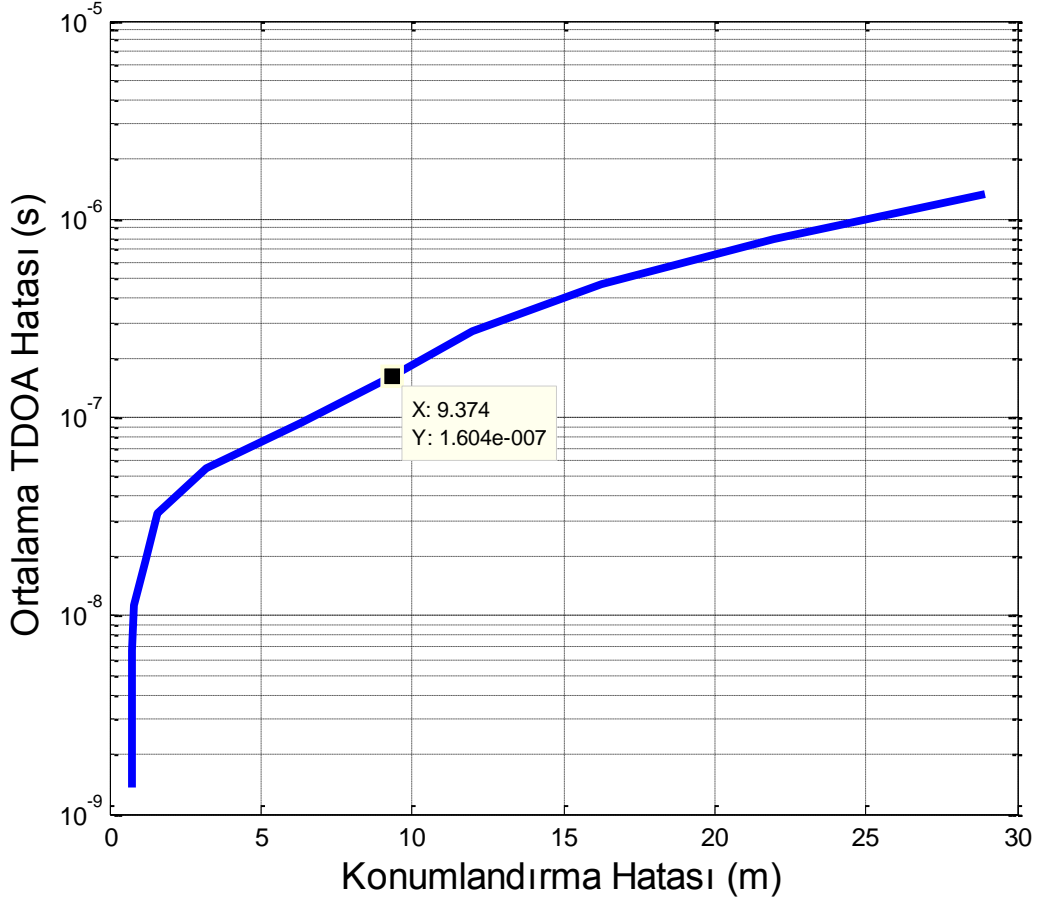


a) TDOA hesabında yapılan ortalama hataya göre, analitik yöntemde yapılan konumlandırma kestirimindeki mesafe hatasının değişimi

Şekil 22. a ve b, TDOA hesabındaki hassasiyete göre, 0.64 km^2 lik bir alanda ve Kartezyen koordinat sistemine göre (0,-4), (4,0), (0,4), (-4,0) koordinatlarına yerleştirilmiş dört mikrofon ile kurulan konumlandırma sisteminde, yapılan ortalama konumlandırma hatasının değişimi.

Şekil 22 'nin devamı,

PSO Algoritması (TDOA Hata – Konum Hata Grafiği)



b) TDOA hesabında yapılan ortalama hataya göre, PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) Algoritmasında yapılan konumlandırma hatasının değişimi

Büyük ve küçük alanlar için yapılan benzetim sonuçlarından görüldüğü gibi, TDOA tabanlı akustik kaynak konumlandırmada en önemli olan nokta, TDOA bilgilerinin hesabıdır. TDOA 'lar ne kadar hassas ölçülürse, yapılan konumlandırmanın sonucu o kadar hatasız olmaktadır.

Akustik kaynak konumlandırma işleminde, analitik yöntem ve PSO algoritmasında yapılan işlemin, akustik kaynağın o anki konumuna göre mikrofonlar arasında meydana getireceği TDOA (varış zamanı farkları) zaman bilgileri kullanılarak hiperboller oluşturmak ve bu hiperbollerin kesişim noktasını bulmak olduğunu daha önce ele almıştık.

Analitik yöntemde, TDOA bilgilerinin oluşturacağı bu hiperbol denklemlerinin çözüm kümeleri taranarak, denklemleri sağlayan ya da en az hata ile sağlayan koordinat değerleri bulunmaya çalışıldığı için bu yöntem kullanılarak yapılan konumlandırmada yapılan mesafe hatası PSO algoritmasına göre daha az hatasız sonuç verebilmektedir. Fakat, PSO algoritmasında da hiperbollerin kesişim noktası, analitik yöntemdeki gibi hiperbol denklemlerinin hepsinin çözüm kümelerinin hesaplanmasına gerek duyulmadan, iteratif olarak kestirilmeye çalışıldığı için PSO algoritmasının işlem yükü analitik yönteminkinden çok daha azdır. Bu nedenle, gerçek zamanlı uygulamalar için tercih edilebilirliği yüksektir.

2.4. Konumlandırma İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları

Deneysel çalışmada, konumlandırma işleminde kullandığımız TDOA bilgilerinin kestirimini yapabilmek için gerekli olan donanım tasarlanmış ve alınan işaretlerinin bilgisayarda işlenebilmesi için gerekli arayüz programı C# programlama dilinde yazılmıştır.

Donanım olarak, dört kanallı bir ses yükselteci tasarımı, dört kanalı aynı anda örnekleyebilmek ve örneklenen veriyi bilgisayara aktarabilmek için gerekli olan donanım için XAD Communications firmasının tasarlamış olduğu FPGA (Xilinx firmasının, Spartan – 2E ailesinden) geliştirme kiti kullanılmıştır. Eş zamanlı örnekleme ve USB arayüzünü gerçekleyebilmek için bu kit üzerindeki FPGA ‘de donanım tasarımı yapılmıştır.

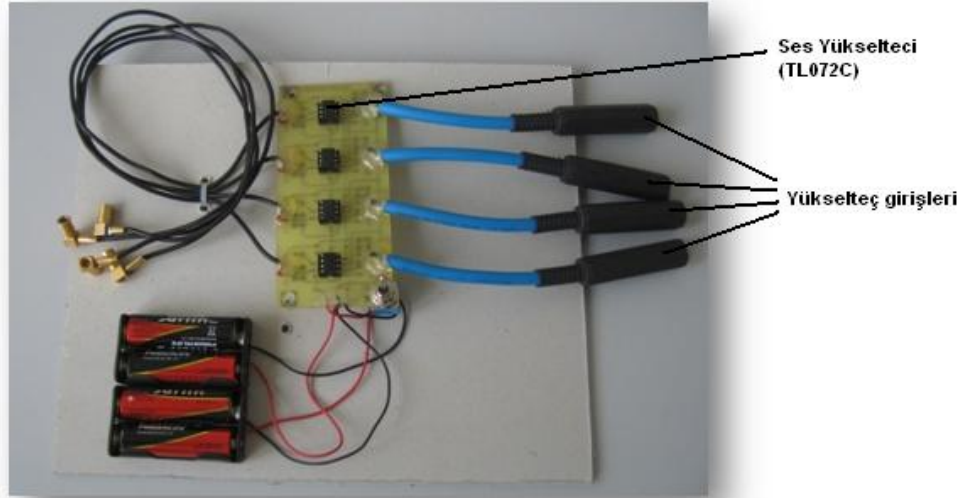
Yazılımsal olarak da, yukarıda bahsi geçen donanımın sağlamış olduğu USB arayüzü ile donanımdan bilgisayara ya da tam tersi veri alış – verişi için C# programlama dilinde, gerekli arayüz programı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, TDOA kestiriminde kullanılan *genelleştirilmiş çapraz – ilinti* yöntemi için gerekli olan yazılım çalışmaları da yapılmıştır.

Deney düzeneği (konumlandırma sistemi) kurularak kapalı bir laboratuvar ortamında, farklı konumlarda bir patlama sesi oluşturulmuş ve bu konumların kestiriminde kullanılacak TDOA bilgileri hesaplanmıştır. Bu TDOA bilgileri ve benzetim çalışmalarında akustik kaynak konum kestirimi için kullanılan analitik yöntem ve PSO algoritmaları kullanılarak konumlandırma işlemi yapılmıştır ve konumlandırma işleminin başarımı, benzetim çalışmalarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

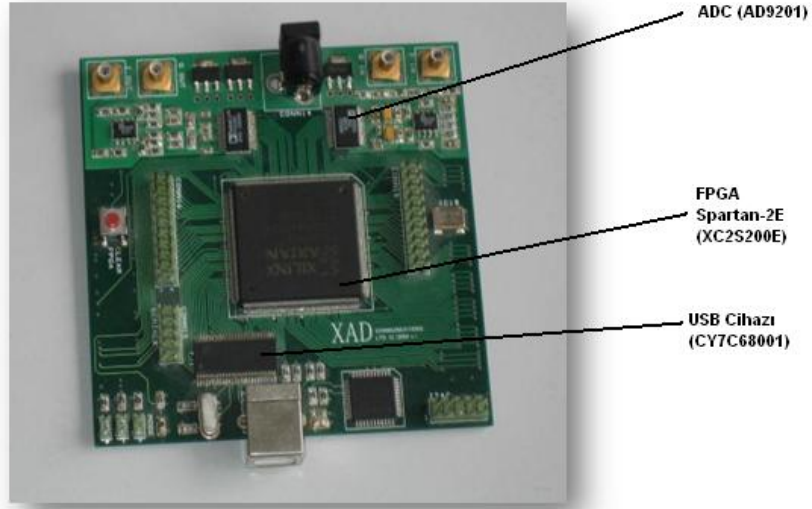
2.4.1. TDOA Hesabı İçin Donanım Tasarımı

Mikrofonlardan alınan işaretleri yükseltmek için, dört kanallı bir ses yükselteci, *TL072C* kullanılarak tasarlanmıştır. Bu entegre, ses yükselteci olarak tasarlanmış, düşük gürültülü, band genişliği büyük (4.0 MHz) bir yükselteçtir. Tasarlanan dört kanallı ses yükselteci şekil 23 'de görülmektedir.

Örnekleme işlemini ve donanımın bilgisayar ile veri alış – verişini sağlamak için kullanılan FPGA geliştirme kiti, aşağıda şekil 24 'de görülmektedir. Bu kit üzerinde, 20 MHz hızında örnekleme yapabilme yeteneğine sahip, 10 bitlik, *AD9201* analog dijital dönüştürücü, 480 Mbps (saniyede $480 \cdot 10^6$ bit) hızında veri alış – verişini destekleyen USB arayüz cihazı (Cypress firmasının *CY7C68001* entegresi) ve bu entegrelerin işlev görmesini sağlayan Xilinx firmasının Spartan – 2E ailesinden *XC2S200E* FPGA 'i mevcuttur.



Şekil 23. *TL072C* kullanılarak tasarlanan dört kanallı ses yükselteci



Şekil 24. Konumlandırmada kullanılan FPGA geliştirme kiti

Analog dijital dönüştürücünün ve USB arayüz cihazının istenilen şekilde çalışabilmesi için FPGA 'de *VHDL* donanım tanımlama dili ve gömülü sistem kullanılarak şematik tabanlı tasarım yapılmıştır.

TDOA hesabı için kurulan sistem şekli 25 'da görülmektedir.



Şekil 25. TDOA tabanlı akustik kaynak konumlandırma için kurulan sistem

2.4.2. TDOA Hesabı İçin Yapılan Yazılım Çalışmaları

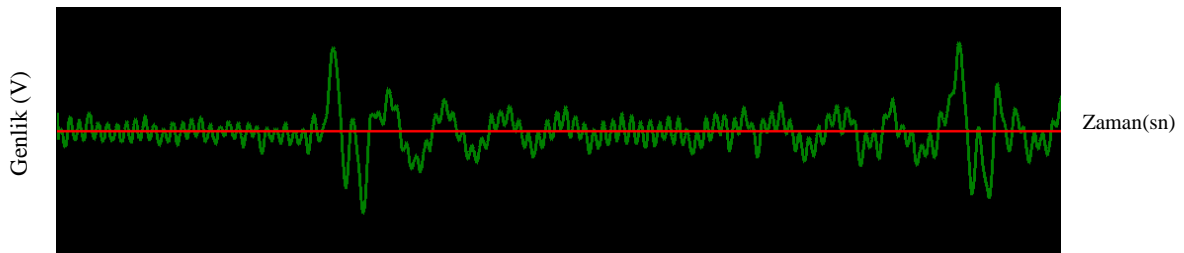
Donanımsal olarak gerçekleştirilen USB arayüzü üzerinden veri alış – verişini sağlamak ve bilgisayara aktarılan verileri işlemek için yazılım çalışmaları yapılmıştır.

Dört ayrı kanaldan alınan akustik bilgiler (27) ‘deki eşitlik ile filtrelenmiştir.

$$y[k] = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} x[i + k] \quad (27)$$

Burada, y filtre çıkışını, x filtre girişini ve M ‘de filtre boyunu simgeler. Filtre boyu $M = 10$ alınarak işlemler yapılmıştır. Şekil 26 ‘de mikrofonların birinden alınan ses bilgisinin filtre girişindeki ve çıkışındaki şekli görülmektedir.

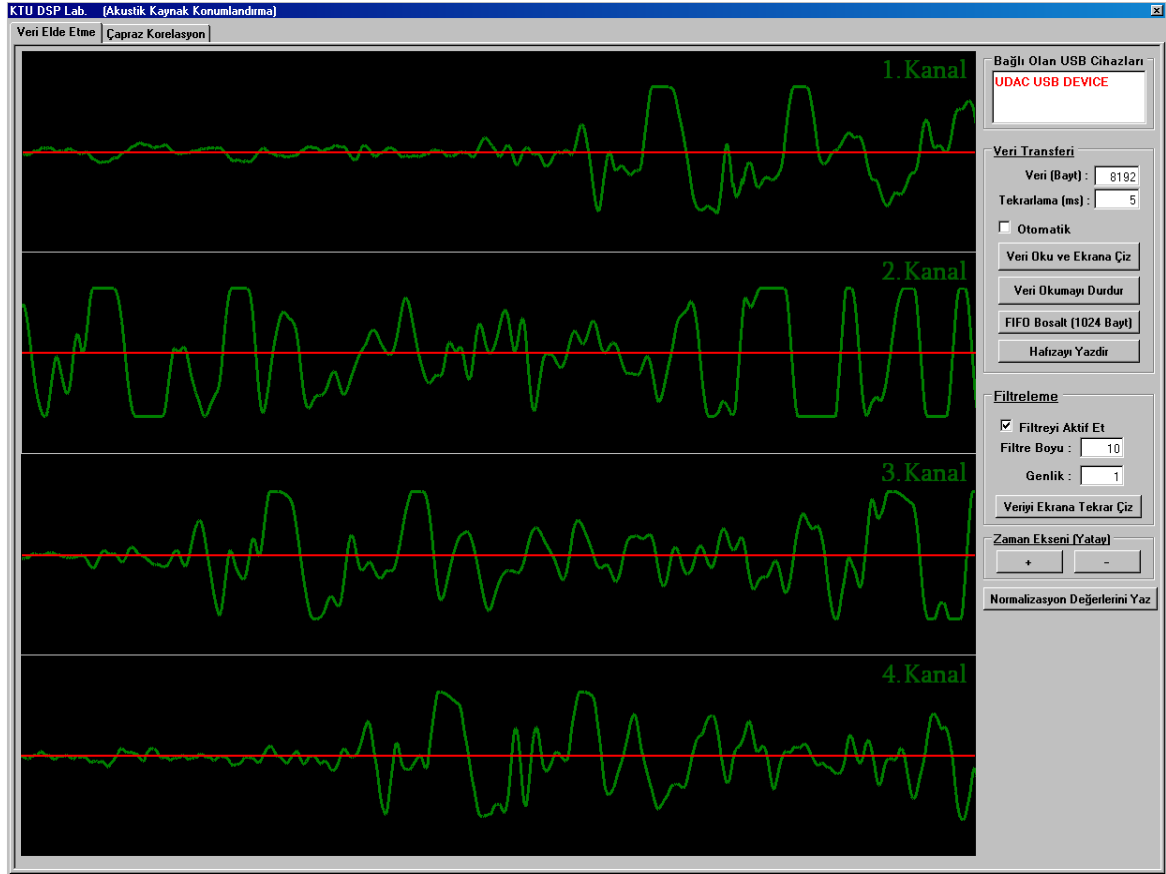
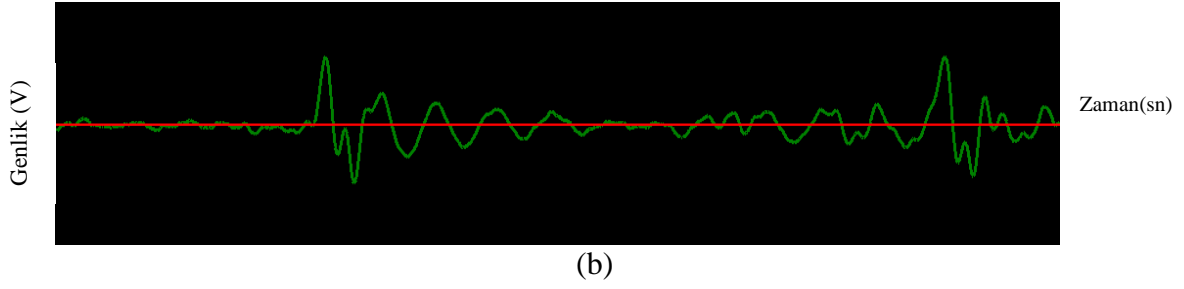
Yapılan çalışmalarda, oluşacak olan bir patlama sesinin konum tespiti hedeflenmiştir. Bu nedenle, mikrofonlardan gelen bilgi gerçek zamanlı olarak örneklenmiş ve bilginin, belirlenen bir eşik üzerinde olup olmadığı değerlendirilmiştir. Herhangi bir mikrofona gelen ses bilgisinin genlik seviyesi, belirlenen genlik seviyesinin üstünde olduğunda dört mikrofondan alınan ses bilgileri aynı anda örneklenmeye başlanmıştır. Böylece, aynı işaret, zamanda ötelenmiş olarak dört ayrı kanalda elde edilmiştir. Bu işaretlerin birbirine göre ötelenme miktarları TDOA bilgileridir. Şekil 27 ‘de TDOA hesabı için C# programlama dilinde yazılmış olan arayüz programı görülmektedir.



(a)

Şekil 26. a) Filtre girişindeki ses bilgisinin genliğinin zamanla değişimini,
b) Filtre çıkışındaki ses bilgisinin genliğinin zamanla değişimi.

Şekil 26 'nın devamı,



Şekil 27. TDOA hesabı için C# programlama dilinde yazılan arayüz programı

Şekil 27 'de görüldüğü gibi ses bilgisi, farklı konumlardaki dört mikrofon ile farklı zamanlarda elde edilir ve filtrelenir. Bu işaretler çapraz – ilintiye tabi tutularak bu sistem için altı farklı TDOA değeri hesaplanır. Şekil 27 'ye bakılırsa, dört özdeş mikrofondan alınan örneklere göre, bu örnek için oluşturulmuş ses bilgisi, 2. kanal olarak isimlendirilen

2. mikrofonu ilk olarak ulaşmış, ikinci olarak 3. kanal olarak isimlendirilmiş 3. mikrofonu, üçüncü olarak 4. kanal olarak isimlendirilen 4. mikrofonu ve son olarak da 1. kanal olarak isimlendirilen 1. mikrofonu ulaşmıştır. Dört mikrofondaki ses bilgisini bilgisayar ortamına aktarabilmek için analog ses bilgisi 150 KHz 'de örneklenmiştir. Yani, kanallar arasındaki her bir gecikme örneği " $1 / 150000 = 6,66 \mu s$ " zaman gecikmesine denk düşmektedir. Dolayısıyla bu tez için kurulan konumlandırma sisteminin hassasiyeti " $6,66 \mu s$ " 'dir.

Şekil 27 'de, 1. kanal, 2. kanal, 3. kanal ve 4. kanal 'daki ses bilgileri 1200 örnekten oluşmaktadır. Dolayısıyla her kanalda " $1200 * 6,66 \mu s = 7,92 ms$ " lik ses örneği mevcuttur.

Kartezyen koordinat sisteminde 1. mikrofon (0,-1), 2. mikrofon (1,0), 3. mikrofon (0,1) ve 4. mikrofondaki (-1,0) koordinatlarına yerleştirildiği konumlandırma sisteminde, maksimum oluşacak olan varış zamanı farkı bilgisi, " $X = V * T$ " formülünden, " $2m = 344m/sn * T$ " ve " $T = 5,814 ms$ " 'dir.

Mikrofonlar, Kartezyen koordinat sisteminde 1. mikrofon (0,-2), 2. mikrofon (2,0), 3. mikrofon (0,2) ve 4. mikrofondaki (-2,0) koordinatlarına yerleştirilirse, oluşacak olan maksimum varış zamanı farkı bilgisi " $4m = 344m/s * T$ " ve " $T = 11,628 ms$ " değerindedir. Dolayısıyla bu tez için kurulmuş olan konumlandırma sisteminde, mikrofonlar arasındaki mesafenin en fazla iki metre olmalıdır. Eğer mikrofonlar arasındaki maksimum mesafe iki metreyi aşarsa, bazı koordinatlar için konumlandırma hesabı yapılamaz.

2.4.3. Konumlandırma İçin Kurulan Sistemin Başarım Analizi

TDOA hesabı ve akustik kaynak konumlandırma için gerekli olan donanım ve yazılım çalışmalarından sonra, son olarak, akustik kaynak konumlandırma için kurulmuş olan sistemin konumlandırma işlemi açısından başarımı test edilmiştir. Bunun için kötü bir ortam olarak düşünölen, yansımaların çok fazla olduğu, kapalı bir laboratuvar ortamında, konumlandırma sistemi kurulmuş ve konumu belli dokuz farklı noktadan onar defa patlama sesi üretilmiş ve her biri için TDOA hesapları yapılmıştır. Bu TDOA bilgileri kullanılarak ayrı ayrı Analitik Yöntem ve PSO Algoritmaları ile akustik kaynağın konumu hesaplanmış ve yapılan hatalar gözlemlenmiştir. TDOA ve konumlandırma hesabı için kurulan sistemde mikrofon konumları, Şekil 16 'a göre Kartezyen koordinat sisteminde, 1. mikrofon (0,-1), 2. mikrofon (1,0), 3. mikrofon (0,1) ve 4. mikrofondaki (-1,0) koordinatlarına yerleştirilmiştir.

Tablo 3. Kurulan akustik kaynak konumlandırma sisteminde konumlandırma hesabında yapılan mesafe ve yön hataları

Akustik Kaynağın Kartezyen Koordinat Sistemine Göre Konumu (x,y)	Konumlandırma Hesabında Yapılan Ortalama Hata			
	PSO Algoritması		Analitik Yöntem	
	Mesafe (metre)	Açı (derece)	Mesafe (metre)	Açı (derece)
(1, 8)	0,5978	0,7991	0,8697	0,8032
(2, 8)	0,8364	1,1681	0,8305	1,1727
(3, 8)	0,8345	1,0278	0,7217	1,0338
(1, 7)	0,5764	1,0386	0,6080	1,0468
(2, 7)	0,8076	1,2235	0,7116	1,2290
(3, 7)	1,3150	1,2019	1,2158	1,2095
(1, 6)	0,3389	1,0616	0,3396	1,0745
(2, 6)	0,5709	1,6304	0,4482	1,6422
(3, 6)	1,4605	1,4328	1,3943	1,4423

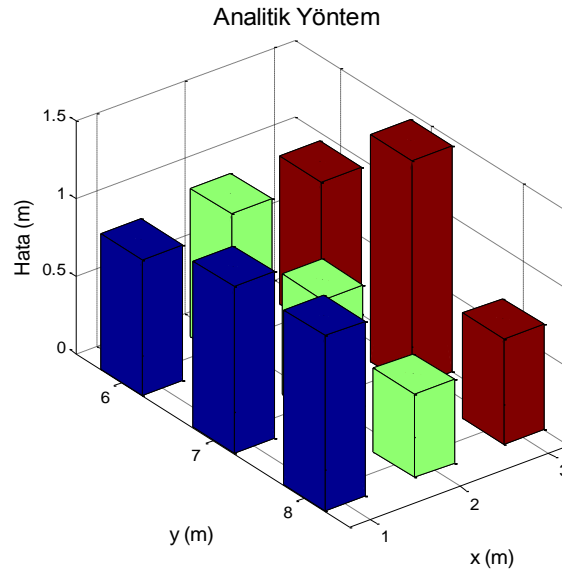
Tablo 3 'de, akustik kaynak konumlandırma için kurulmuş olan sistemin, konumlandırma hesabı için kullanılan Analitik Yöntem ve PSO Algoritmalarında yapılan mesafe ve yön (açısal) hataları görülmektedir. Deneysel olarak hesaplanan TDOA değerleri ile kaynağın ve mikrofonların konumuna göre olması gereken tam TDOA değerleri birbiriyle karşılaştırılmıştır ve Tablo 3 oluşturulurken bulunan TDOA değerleri ortalama 91 μ s mertebelerindeki zaman hatalarında hesaplanmıştır. Yani, kurulan konumlandırma sistemi ile mikrofonlar arasında oluşan TDOA bilgileri ortalama 91 μ s 'lik zaman hatasıyla hesaplanmış ve bu hassasiyetteki TDOA bilgileriyle, Tablo 3 'deki verilere göre, akustik kaynağın konumu ortalama 0.805 m mesafe hatasıyla, akustik kaynağın yönü de ortalama 1.17 derece açı hatası ile hesaplanmıştır.

Akustik kaynak konumlandırmada, laboratuvar ortamında kurulan konumlandırma sistemi için benzetim çalışmaları da yapılmıştır. Başka bir deyişle, Kartezyen koordinat sisteminde 1. mikrofon (0,-1), 2. mikrofon (1,0), 3. mikrofon (0,1) ve 4. mikrofondaki (-1,0) koordinatlarına sabitlenerek akustik kaynağın konumu sırasıyla (1,6), (2,6), (3,6), (1,7), (2,7), (3,7), (1,8), (2,8) ve (3,8) koordinatlarında iken TDOA bilgilerinin yaklaşık olarak

deneysel çalışmadaki gibi ortalama 90 μ s mertebesindeki bir zaman hatasıyla hesaplandığı varsayılarak (bu mertebede gürültü ekleyerek) Analitik Yöntem ve PSO Algoritması ile akustik kaynağın konumu kestirilmiştir ve yapılan hatalar gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmada kurulan konumlandırma sistemindeki akustik kaynağın ve mikrofonların koordinatları kullanılarak yapılan benzetim çalışmalarının sonuçları Şekil 28 'de görülmektedir.

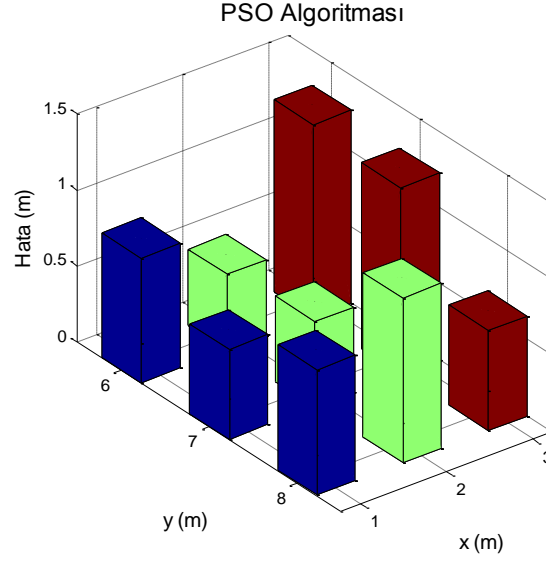
Deneysel ve benzetim çalışmalarının sonuçları, Tablo 3 ve Şekil 28 'den de görüldüğü gibi, birbirini desteklemektedir. Deneysel çalışmalarla TDOA bilgileri ortalama 91 μ s zaman hatası ile hesaplanmış ve bu durum için konumlandırma yapılan mesafe hatası ortalama 0.805 m iken, aynı sistem için yapılan benzetim çalışmalarında Analitik Yöntem ve PSO Algoritması için ortalama olarak sırasıyla 94.98 μ s ve 85.57 μ s hata ile hesaplanan TDOA bilgileriyle ortalama olarak sırasıyla 0.9361 m ve 0.8347 m mesafe, 1.41 ve 1.12 derece de yön hatasının yapıldığı görülmektedir.



a) TDOA bilgileri ortalama 94.98 μ s hata ile kestirilmiştir ve yapılan ortalama mesafe hatası 0.9361 m, yön hatası da 1.41 derecedir.

Şekil 28. Kartezyen koordinat sistemine göre sırasıyla (0,-1), (1,0), (0,1), (-1,0) Koordinatlarına yerleştirilmiş dört mikrofon ile kurulan konumlandırma sisteminde, ses kaynağının (1,6), (2,6), (3,6), (1,7), (2,7), (3,7), (1,8), (2,8) ve (3,8) koordinatlarında, ortalama 90 μ s zaman hatası ile hesaplanmış TDOA bilgileri kullanılarak yapılan konumlandırma kestirimindeki ortalama mesafe hataları

Şekil 28 'in devamı,



b) TDOA bilgileri ortalama 85.57 μ s hata ile kestirilmiştir ve yapılan ortalama mesafe hatası 0.8347 m, yön hatası da 1.12 derecedir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, TDOA (varış zamanı farkı) tabanlı akustik kaynak konumlandırma sistemi için benzetim ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. TDOA tabanlı konumlandırma işlemi için ilk olarak literatürde sıklıkla karşılaşılan analitik yöntem ile konumlandırma yapılmış ve daha sonra istatistiksel bir optimizasyon yöntemi ve işlem yükü klasik optimizasyon yöntemlerine göre oldukça az olan PSO algoritması ile yinelemeli olarak konum kestirimi yapılarak deneysel ve benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki, TDOA tabanlı akustik kaynak konumlandırma işlemindeki en önemli kriter, konumlandırma sisteminde kullanılan alıcılar arasında oluşacak olan TDOA bilgileridir. Konumlandırma işleminin hassas yapılabilmesi için bu TDOA bilgilerinin hassas ölçülmesi gerekmektedir.

TDOA bilgilerinin hassas ölçülebilmesi için, sistemde kullanılan alıcılar arasındaki mesafe, alıcıların konumları, alıcıların kendi özellikleri vb. kısıtlar ve kurulan konumlandırma sistemi için kullanılması düşünülen her türlü donanımın hassasiyeti oldukça önemlidir. Bu çalışma için kurulan konumlandırma sisteminde alıcı olarak kullanılan mikrofonlar, mikrofonların aralarındaki mesafe ve bu mesafedeki hassaslık, ses yükseltici olarak gerçekleştirilen devrenin ve kullanılan yükselticinin tepki süresi, bant genişliği vb. özellikleri büyük önem arz etmiştir. Diğer yandan TDOA bilgilerinin işlenmesi için kullanılan analog dijital dönüştürücünün hassasiyeti ve örnekleme hızı gibi özelliklerin her biri TDOA bilgilerinin hatasını ve yapılan değerlendirmelerin başarımlarını etkilemiştir.

Bu çalışmadaki kapalı bir laboratuvar ortamında gerçekleştirilen konumlandırma sisteminde, TDOA bilgileri ortalama olarak 91 μ s zaman hatası ile hesaplanabilmiştir. Bu ise kapalı alanda akustik kaynağın konumunun hesabında, mesafe olarak 0.805 m, yön olarak 1.17 derece açı hatasına neden olmuştur. Mikrofonlardan alınan ses bilgilerinin, bir bilgisayara aktarılarak TDOA bilgilerinin hesaplanabilmesi için kullanılan örnekleme frekansı 150 KHz 'dir. TDOA bilgilerini daha hassas ölçebilmek için bu örnekleme hızı daha da arttırılmalıdır fakat bu çalışma için kullanılan donanım, bu örnekleme frekansının üzerine çıkılmasına izin vermemiştir. Alıcı olarak kullanılan mikrofonlar, Kartezyen koordinat sisteminde sırasıyla (0,-1), (1,0), (0,1), (-1,0) metre koordinatlarına

yerleştirilerek konumlandırma sistemi oluşturulmuştur. Fakat, yapılan benzetim çalışmalarından görülmüştür ki mikrofonlar arasındaki mesafeler arttırıldığında, örnek olarak (0,-2), (2,0), (0,2), (-2,0) koordinatlarına yerleştirildiğinde, konumlandırma hesabı daha az hata ile yapılabilmektedir.

Analitik yöntem ve PSO algoritması ile yapılan konumlandırma başarımı yaklaşık olarak aynı seviyededir. Bu çalışmada, konumlandırma hesabına analitik yöntemin haricinde PSO algoritması ile yinelemeli bir yaklaşım getirilmiştir. PSO algoritması, işlem yükü klasik kestirim yöntemlerinden oldukça az olması ve uygulanabilirliğinin kolay olması nedeniyle tercih edilmiştir. Akustik kaynak konumlandırma çalışmalarında PSO algoritmasının başarımının algoritmaya sunulan başlangıç değerleri ile doğrudan bağlantılı olduğu bu çalışmada gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, algoritmadaki parçacıklar ilk yineleme için, çözüm kümesi aranan uzayda iyi bir şekilde dağıtılmalıdır. Bazen, geniş bir alan içerisindeki uzak bir nokta kestirilmeye çalışılırken yineleme sayısı yüksek olmaktadır ya da daha fazla parçacığa ihtiyaç duyulabilmektedir. Buna çözüm olarak bu çalışmada, PSO algoritmasında kullanılan parçacıkların başlangıç durumları, olası olabilecek çözüm kümesinin etrafında belirlenmiştir. Olası çözüm kümesi, hesaplanan TDOA bilgileri kullanılarak belirlenmiştir. Başka bir deyişle, herhangi konumdaki bir akustik kaynağın oluşturduğu ses sonucunda mikrofonlar arasında oluşacak olan TDOA bilgilerine bakılarak, bu akustik kaynağın konum bilgisi hakkında yorum yapılmış ve PSO algoritmasındaki parçacıklar bu bölgeye dağıtılarak konum kestirimi yapılmıştır.

Laboratuvar ortamında yapılan konumlandırma sonuçlarına göre, Tablo 3 'den de görüldüğü gibi, köşe noktalarda, (1,8), (1,7), (1,6) noktalarında, PSO algoritması analitik yönteme göre daha iyi kestirim sonucu verirken, köşe olmayan noktalarda analitik yöntemin başarımı daha iyidir. Açısal kestirimde ise, PSO algoritmasının başarımının analitik yönteme göre her ölçüm noktasında daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, daha çok sistemin uygulanmasındaki kriterleri belirleme şeklinde olmuştur. Akustik konumlandırmada, seçilen mikrofonların, örnekleme bant genişliklerinin ve mikrofon konumlandırmanın önemi yanında, sistemin başlangıç tepki süresinin konumlandırma doğruluğunda önemli bir etken olduğu ortaya çıkmıştır.

4. ÖNERİLER

Bu çalışmada akustik kaynak konumlandırma işlemi için dört özdeş alıcı kullanılmıştır ve bu alıcılardan alınan bilgiler 150 KHz örnekleme hızıyla örneklenerek alıcılar arasındaki TDOA bilgileri hesaplanmıştır. Kullanılan donanım daha yüksek hızda örnekleme izin vermemiştir. Daha hassas konumlandırma yapabilmek için TDOA bilgilerinin daha hassas hesaplanabilmesi gerekmektedir. Bunun için örnekleme hızı daha yüksek olan donanımlar kullanılabilir.

Kullanılan alıcılar, bu çalışmada, aralarında ikişer metre olacak şekilde konumlandırılmıştır. Daha hassas TDOA hesabı yapılabilmesi için alıcılar arasındaki mesafe arttırılabilir fakat böyle bir konumlandırma sistemi için alıcılardan daha fazla örnek almak gerekecektir.

Bu çalışmada kullanılan dört özdeş mikrofon yerine, daha hassas mikrofonlar kullanılarak ölçümlerin tekrarlanması konumlandırma hassasiyetini iyileştirebileceği gibi, daha fazla mikrofon kullanılarak veya mikrofonlar farklı şekilde yerleştirilerek daha iyi sonuç verebilecek alıcı konumları belirlenebilir. Ayrıca kullanılacak alıcıların hassas bir şekilde konumlandırılması performansı arttıracaktır.

Konumlandırma işlemi için analitik yöntem alternatif olarak bu çalışmada kullanılan PSO algoritmasından başka optimizasyon yöntemleri ile çözüme gidilebilir, karınca kolonisi ya da gezgin satıcı gibi diğer optimizasyon algoritmaları denenebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Kim, U., Kim, J., Kim, D., Kim, H. ve You B., Speaker Localization Using the TDOA-based Feature Matrix for a Humanoid Robot, Proceedings of the 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2008 610-615.
2. Huang, Y., Benesty J. ve Elko G., Passive Acoustic Source Localization For Video Camera Steering, IEEE International Conference, 2000, 909-912.
3. Kefeli, H.C ve Erturk, S., Spatial Position Detection Of Acoustic Sources On The T1 Davinci Platform Using Microphone Arrays, Signal Processing, Communication and Applications Conference, SIU IEEE , (2008) 1-4.
4. Chen, H. ve Ser, W., Acoustic Source Localization Using LS-SVMs Without Calibration of Microphone Arrays, Circuits and Systems,ISCAS IEEE International Symposium, 2009, 1863-1866.
5. Wikstrom, M., Ahnstrom, U., Falk, J. ve Handel, P., Implementation of an acoustic location-finding system for TDOA measurements, 2003, 1-3.
6. Nishiura, T., Yamada, T., Nakamura, S. ve Shikano, K., Localization Of Multiple Sound Sources Based On A Csp Analysis With A Microphone Array, Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP, IEEE International Conference, (2000) 1053-1056.
7. Houghton, A.W. ve Reeve, C.D., Direction finding on spread-spectrum signals using the time-domain filtered cross spectral density, Radar, Sonar and Navigation, IEE Proceedings, 1997, 315-320.
8. Şimşek, C., Kanalıñ Birim Vuruş Tepkesine Dayalı Yer Bulma Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2008.
9. Eargle, J., THE Microphone Book, İkinci Baskı, Focal Press, United States, 2005.
10. Holman, T., Sound For Digital Video, Birinci Baskı, Focal Press, United States, 2005.
11. Pahlavan, K. Xinrong L. ve Makela, J.P., Indoor Geolocation Science and Technology, IEEE Communications Magazine, 2002, 112-118.
12. Munoz, D., Bouchereau, F., Vargas, C. ve Enriquez R., Position Location Techniques and Applications, Academic Press, United States, 2009.

13. Chelly, M. ve Samama, N., New techniques for indoor positioning, combining deterministic and estimation methods, European Navigation Conference, 2009 1-12.
14. Bensky, A., Wireless Positioning Technologies and Applications, Birinci Baskı, Artech House, Boston London, 2008.
15. Benesty, J., Chen, J. ve Huang, Y., Microphone Array Signal Processing, Birinci Baskı, Springer, Berlin Heidelberg, 2008.
16. Hegde, R., The Generalized Correlation Method for Estimation of Time Delay, 2003.
17. Brandstein, M.S. ve Silverman, H.F., A Robust Method For Speech Signal Time-Delay Estimation In Reverberantrooms, Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference, 1 (1997) 375-378.
18. Knapp, C. ve Carter, G., The Generalized Correlation Method For Estimation Of Time Delay, Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions, 24 (1976) 320-327.
19. IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2004.
20. Minero, P., Eren, M. ve Bahai, A., A Distributed Localization System for Sensor Networks, 2006 1-5.
21. Gustafsson, F. ve Gunnarsson, F., Positioning Using Time-Difference Of Arrival Measurements, Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference, 6 (2003) 553-556.
22. Drane, C., Macnaughtan, M. ve Scott, C., Positioning GSM Telephones, IEEE Communications Magazine, 1998, 46-55.
23. Tamer, S. ve Karakuzu, C., Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması ve Benzetim Örnekleri, Kocaeli Üniversitesi Müh. Fak. Elektronik ve Haberleşme Müh. Bölümü Kocaeli, Temmuz 2006, İzmit.
24. Russell, C.E. and Yuhui, S., “Copmarison Between Genetic Algorithms and Particle Swarm Optimization,” Birinci Baskı, Springer, Berlin Heidelberg, 1998.
25. Waller, R., Boudreau, J. ve Vear, T., Microphone Techniques for Live Sound, Springer, Berlin Heidelberg, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

Cenk ALBAYRAK 1985 yılında Trabzon'da doğdu. İlk öğrenimini Kanuni İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimini Zehra Kitapçıoğlu Orta Okulu'nda ve lise öğrenimini Tevfik Serdar Anadolu Lisesi'nde yaptı. 2003 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Lisans Programı'na başladı ve 2007 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Programı'na başladı. Yabancı dil olarak iyi derecede İngilizce bilmektedir. 2010 yılında Sanayi Bakanlığı'nın Teknogirişim Sermayesi Desteği Programı'nda "Evrensel Veri Erişim Terminali" isimli projeyi yürütmeye başladı. Şuan aynı projeyi KOSGEB destekli olarak devam ettirmektedir.