

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



DEPREMZEDELERİN SESLERİNDEN KONUMLARININ
TESPİTİ

20011052 – Ayşenaz KONAN
20011006 – Abdullah Memiş BELİKIRIK

BİLGİSAYAR PROJESİ

Danışman
Doç. Dr. Ali Can KARACA

Nisan, 2024

TEŞEKKÜR

Başlangıcından itibaren proje sürecinde destekleyici ve anlayışlı tutumu ile bize yardımcı olan ve her daim yanımızda olan kıymetli danışman hocamız Doç. Dr. Ali Can KARACA'ya katkıları ve rehberliği için en içten teşekkürlerimizi sunarız. Hocamızın bilgi ve tecrübeleri, projenin her aşamasında büyük bir değer katmış ve bizleri doğru yönlendirerek projenin başarılı bir şekilde ilerlemesini sağlamıştır. Onun özverili desteği, motivasyonumuzu artırmış ve karşılaştığımız zorlukların üstesinden gelmemize yardımcı olmuştur.

Ayrıca, proje süresince gerekli tüm imkanları biz öğrencilere sunan, teknolojik altyapı ve kaynaklarıyla projeyi gerçekleştirmemize olanak sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi'ne ve değerli Rektörlüğüne teşekkür ederiz.

Ayşenaz KONAN
Abdullah Memiş BELİKIRIK

İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1 Giriş	1
2 Ön İnceleme	2
2.1 Gömülü Sistem	2
2.2 Yazılım Geliştirme	2
3 Fizibilite Analizi	4
3.1 Teknik Fizibilite	4
3.1.1 Donanım Fizibilitesi	4
3.1.2 Yazılım Fizibilitesi	5
3.2 İş Gücü ve Zaman Planlaması	5
3.3 Yasal Fizibilite	6
3.4 Ekonomik Fizibilite	6
4 Sistem Analizi	7
4.1 Mikrofon Dizisi ve Donanım Altyapısı	7
4.2 Gömülü Sistem Yazılım ve Entegrasyon	8
4.3 Ses Konumlandırma Algoritması	8
4.3.1 Gürültü ve Yansıma Direnci:	8
4.3.2 Doğruluk ve Kararlılık:	8
4.3.3 Hız ve Verimlilik:	8
4.3.4 Literatürde Kabul Görmüşlük:	9
4.4 Sistemin İşlevselliğinin Geliştirilmesi	9
4.5 Test ve Optimizasyon	9

5	Sistem Tasarımı	10
5.1	Donanım Tasarımı	10
5.1.1	İki Jetson Nano Kullanılmamasının Nedenleri:	12
5.2	Yazılım Tasarımı	12
5.2.1	Algoritma	13
6	Uygulama	17
7	Performans Analizi	21
7.1	Doğruluk ve Hassasiyet	21
7.1.1	Karesel Hataların Toplamının Kareköklü Sonucu (RMSE)	21
7.2	Hız	23
7.3	Enerji Tüketimi	23
8	DeneySEL Sonuçlar	24
9	Sonuç	28
9.1	Projenin Başarıları	28
9.1.1	Doğruluk ve Hassasiyet:	28
9.1.2	Hız:	28
9.1.3	Enerji Tüketimi::	28
9.2	Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Yolları	28
9.3	Gelecekteki Çalışmalar	29
	Referanslar	30
	Özgeçmiş	31

KISALTMA LİSTESİ

ARM	Advanced RISC Machines
dB	desiBel
DC	Direct Currency
DP	Display Port
FFT	Fast Fouier Transform
GB	Gigabyte
GCC-PHAT	Generalized Cross Correlation Phase Transform
GPIO	General Purpose Input Output
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
Hz	Hertz
I2C	Inter-Integrated Circuit
I2S	Integrated Interchip Sound
LPDDR	Low-Power Double Data Rate 4
MEMS	Microelectromechanical Systems
POE	Power Over Ethernet
SDK	Software Development Kit
SNR	Signal Noise Rate
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
SSL	Sound Source Localization
TDOA	Time Difference of Arrival
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
USB	Universal Serial Bus

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	Gant Şeması	6
Şekil 4.1	Mikrofon İskeleti	7
Şekil 5.1	Stereo bağlantı için örnek bir pinout şeması	10
Şekil 5.2	Sistemin son hali	11
Şekil 5.3	Tek mikrofon ile kaydedilen sesin grafiği	12
Şekil 5.4	İki mikrofon ile kaydedilen sesin grafiği	13
Şekil 5.5	Yukarıda verilen algoritmanın akış şeması	16
Şekil 6.1	İki mikrofonun tam ortasındaki ses kaynağı	17
Şekil 6.2	İki mikrofonun tam ortasındaki ses kaynağından kaydedilen sesler için çıktı	18
Şekil 6.3	Birinci mikrofonun sol çaprazındaki ses kaynağı	18
Şekil 6.4	Birinci mikrofonun sol çaprazındaki ses kaynağından kaydedilen sesler için çıktı	19
Şekil 6.5	Birinci mikrofonun hemen solundaki ses kaynağı	19
Şekil 6.6	Birinci mikrofonun hemen solundaki ses kaynağından kaydedilen sesler için çıktı	20
Şekil 8.1	İki mikrofonun tam ortasındaki ses kaynağı için çıktı	25
Şekil 8.2	Birinci mikrofonun sol çaprazındaki ses kaynağı için çıktı	26
Şekil 8.3	İkinci mikrofonun sağ çaprazındaki ses kaynağı için çıktı	27

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Donanım Maaliyeti	6
Tablo 5.1	Stereo mikrofon pinout şeması	10
Tablo 7.1	Ses Geliş Açısı Performans Analizi	21

DEPREMZEDELERİN SESLERİNDEN KONUMLARININ TESPİTİ

Ayşenaz KONAN

Abdullah Memiş BELİKIRIK

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Bilgisayar Projesi

Danışman: Doç. Dr. Ali Can KARACA

Bu projede, başlangıçta depremzedelerin seslerinden konumlarının tam olarak tespit edilmesi amacıyla yola çıkılmıştır. Depremlerin ardından hayatta kalan bireylerin acil yardıma ihtiyaç duyduğu durumlarda, ses analizi tekniklerini kullanarak konum tespiti yapmayı hedefleyen bu proje, hem yazılım hem de donanım açısından yenilikçi bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Başlangıçta planlanan geniş kapsam, Jetson Nano'nun sadece iki mikrofon desteklemesi nedeniyle daraltılmak durumunda kalmıştır. Bu kısıtlama, projemizin kapsamını ses kaynağının sadece geliş açısını tespit etmekle sınırlandırılmıştır. Proje kapsamında, iki mikrofonlu bir sistem kullanarak ses kaynağının geliş açısını belirleme üzerine yoğunlaşmıştır. Bu sistem, düşük güç tüketimi ile taşınabilir bir cihaz olarak tasarlanmış ve acil durum müdahale süreçlerinde kullanılabilirliği hedeflenmiştir. NVIDIA ve Bridge to Türkiye Fund tarafından desteklenen bu proje, hızlı ve etkili müdahaleler için teknolojik yenilikleri acil durum süreçlerine entegre etmeyi amaçlamaktadır. Projenin bu aşamasında, ses konum tespiti yöntemlerinin literatürdeki durumu incelenmiş, gömülü sistemde yazılım ve donanım entegrasyonu gerçekleştirilmiş ve performans analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, sistemin yüksek doğruluk ve hızlı tespit kapasitesi ile başarılı olduğunu göstermektedir. Bu rapor, projenin ilerlemesini ve hedeflerine ulaşma potansiyelini detaylı bir şekilde sunmaktadır.

ABSTRACT

LOCATING EARTHQUAKE VICTIMS THROUGH THEIR VOICES

Ayşenaz KONAN

Abdullah Memiş BELİKIRIK

Department of Computer Engineering

Computer Project

Advisor: Assoc. Prof. Ali Can KARACA

In this project, the initial goal was to precisely locate earthquake victims through their voices. In situations where survivors need urgent assistance following earthquakes, this project aims to determine their location using sound analysis techniques, offering an innovative solution in both software and hardware aspects. The initially planned broad scope had to be narrowed down due to Jetson Nano supporting only two microphones. This limitation has restricted the scope of our project to merely detecting the direction of arrival (DoA) of the sound source.

The project focuses on determining the direction of arrival of a sound source using a two-microphone system. This system is designed as a portable device with low power consumption, aimed at usability in emergency response processes. Supported by NVIDIA and Bridge to Türkiye Fund, this project seeks to integrate technological innovations into emergency response processes for rapid and effective interventions.

At this stage of the project, the current state of sound localization methods in the literature has been reviewed, the integration of software and hardware in the embedded system has been completed, and performance analysis has been conducted. The results obtained demonstrate the system's high accuracy and rapid detection capacity, indicating its success. This report details the progress of the project and its potential to achieve its goals.

1

Giriş

Dünya genelinde artan doğal felaketler, özellikle de depremler, milyonlarca insanın yaşamını etkilemekte ve sık sık yıkıcı sonuçlar doğurmaktadır. Bu felaketlerin ardından, hayatta kalmış bireylerin acil yardıma ihtiyacı olabilmekte ve bu noktada hızlı ve etkili müdahale kurtarıcı olabilmektedir. Ancak, depremzedelerin konumlarını belirlemek ve yardım ekiplerini doğru bir şekilde yönlendirmek sıkça karşılaşılan bir zorluktur.

Bu bağlamda, "Depremzedelerin Seslerinden Konumlarının Tespiti" adlı projemiz, ses analizi tekniklerini kullanarak depremzedelerin yer tespiti için inovatif bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Projemizin temel amacı, birden fazla mikrofona entegrasyonu ile ses kaynağının konumunu belirleme yeteneğini kullanarak, depremzedelerin konumlarını hassas bir şekilde tespit etmektir. Bu teknoloji, mevcut savunma endüstrisi uygulamalarında kullanılan keskin nişancı konum belirleme teknikleriyle benzerlik göstermektedir.

Projemizin önemli bir özelliği, konum tespiti işlemini gömülü bir sistem üzerinde gerçekleştirecek olmasıdır. Bu, taşınabilir cihazlarda kullanılabilirlik ve enerji tüketiminin minimum seviyeye indirilmesi anlamına gelir. NVIDIA ve Bridge to Türkiye Fund tarafından desteklenen bu proje, teknolojik yenilikleri acil durum müdahale süreçlerine entegre etme potansiyelini artırarak depremzedelere daha hızlı ve etkili yardım ulaştırma hedefini güçlendirmektedir.

Projemizin bu aşamasında, ses konum tespiti yöntemlerinin literatürdeki durumunu inceledik ve bilgisayar ortamında uygulanabilirliğini değerlendirdik. Ayrıca, gömülü sistemde yazılım ve donanımın entegrasyonunu ve tasarımını gerçekleştirmek için adımlar atmaktayız. Bu rapor, projenin şu ana kadar olan ilerlemesini ve hedeflerine ulaşma potansiyelini detaylı bir şekilde sunmaktadır. Proje tamamlandığında, depremzedelerin hayatlarını kurtarmak ve yardım süreçlerini optimize etmek için önemli bir katkı sunması beklenmektedir.

2.1 Gömülü Sistem

Gömülü sistem, genellikle özel bir görevi yerine getirmek üzere tasarlanmış, genellikle sınırlı kaynaklara sahip olan bir bilgisayar sistemidir. Bu projede, depremzedelerin seslerini konumlandırmak için bir gömülü sistem kullanılacaktır.

1. Ses Konum Tespiti Algoritmalarının Entegrasyonu İlk adım, literatürde incelenen ses konum tespiti yöntemlerinin gömülü bir sistem üzerinde nasıl uygulanabileceğinin belirlenmesidir. Bu algoritmalar, ses sinyallerinin işlenmesi ve ses kaynağının konumunu belirleme yeteneğine odaklanacaktır.
2. Performans Analizi Seçilen algoritmalar bilgisayar ortamında uygulanacak ve performansları analiz edilecektir. Bu aşamada, doğruluk, hassasiyet ve hız gibi faktörler dikkate alınacaktır.
3. Gömülü Sistem Tasarımı Ardından, seçilen algoritmaların entegrasyonu için bir gömülü sistem tasarlanacaktır. Bu tasarım, düşük güç tüketimi ile taşınabilir bir cihaz olarak kullanılabilecek şekilde optimize edilecektir.
4. Donanım ve Yazılım Entegrasyonu Gömülü sistem, hem donanım hem de yazılım bileşenlerini içerecektir. Bu aşamada, ses konum tespiti için gerekli olan donanım ve yazılım bir araya getirilecek ve entegre edilecektir.

2.2 Yazılım Geliştirme

Yazılım geliştirme aşaması, gömülü sistem üzerinde çalışacak olan yazılımın tasarımı, geliştirilmesi ve iyileştirilmesini içerir.

1. Gömülü Yazılım Geliştirme

Litaratür taraması sonucunda SSL algoritmalarından ilham alarak, belirlenen algoritmaları kullanarak yazılım geliştirilecektir. Ayrıca, makalede yer alan GCC-PHAT yöntemi ile açt tahmini yapılmasına değinilmektedir. GCC-PHAT, ses kaynağının geliş zaman farkı (TDOA) bilgisini kullanarak ses kaynağının yönünü tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.[1] Bu yöntem, ses sinyalleri arasındaki genel çapraz-korelasyon faz dönüşümünü kullanarak gelişmiş açt tahminleri sağlar. Geliştireceğimiz yazılım, ses sinyallerini işleyerek konum tespiti sağlayacak temel mantığı içerecektir.

2. İşlevsellik Geliştirme

Sistemin işlevselliğini artırmak için gerekli olan ek özellikler ve iyileştirmeler bu aşamada yapılacaktır. Bu, sistem performansını optimize etmek ve depremzedelerin seslerini daha doğru bir şekilde tespit etmek için yapılan geliştirmeleri içerir.

3. Nihai Versiyona Dönüştürme

Yazılım, geliştirilen tüm özelliklerin ve algoritmaların entegre edildiği nihai bir versiyona dönüştürülecektir. Bu aşamada, kullanıcı arayüzü, raporlama sistemleri ve diğer kullanışlı özellikler eklenerek projenin kullanıcı dostu bir hale getirilmesi sağlanacaktır.

Sonuç olarak, bu iki ana kısım bir araya geldiğinde, depremzedelerin seslerini tespit edebilen, konumlarını belirleyebilen ve yardım ekiplerinin daha etkili bir şekilde koordine edilmesini sağlayabilen bir çözüm elde edilecektir. Bu çözüm, taşınabilir bir cihaz olarak kullanılabilir ve enerji tüketimi minimum düzeye indirilmiş olacaktır.

3.1 Teknik Fizibilite

Teknik fizibilite bölümü hem donanım hem de yazılım alt bölümlerinde açıklanmıştır.

3.1.1 Donanım Fizibilitesi

1. Jetson Nano Developer Kit 2GB [2] A powerful, lightweight and power-efficient microcontroller that was built by the Raspberry Pi Foundation.

- Dört çekirdekli ARM® Cortex®-A57 MPCore işlemci
- SRAM: 264kB, Flash Memory: 2MB
- 4x USB 3.0 Tip A konnektör, 1x USB 2.0 Micro-B konnektör
- 40 pinli giriş (UART, SPI, I2S, I2C, PWM, GPIO), 12 pinli otomasyon girişi, 4 pinli fan girişi, 4 pinli POE girişi, DC güç jakı, Güç, Zorla Kurtarma ve Sıfırlama düğmeleri
- 1x HDMI 2.0, 1x DP 1.2Built-in
- 4 GB 64 bit LPDDR4

Bu özellikler Jetson Nano 2GB modülünü projemiz için seçmemizde önemli rol oynamıştır.

2. INMP441 MEMS Mikrofon

- 24 bit Dijital I2S arabirimi.
- 60Hz - 15kHz frekans tepkisi ($\pm 3\text{dB}$)
- 61db SNR (sinyal gürültü oranı)
- Sağ ve Sol Stereo Giriş
- 44.1kHz - 48kHz Örnekleme oranı

3.1.2 Yazılım Fizibilitesi

Aşağıda belirtilen yazılımlar, projenin donanım ve yazılım bileşenlerini optimize etmek ve hedeflenen sonuçları elde etmek için kullanılacaktır. Ayrıca yazılımların tümü ücretsiz yazılımlardır.

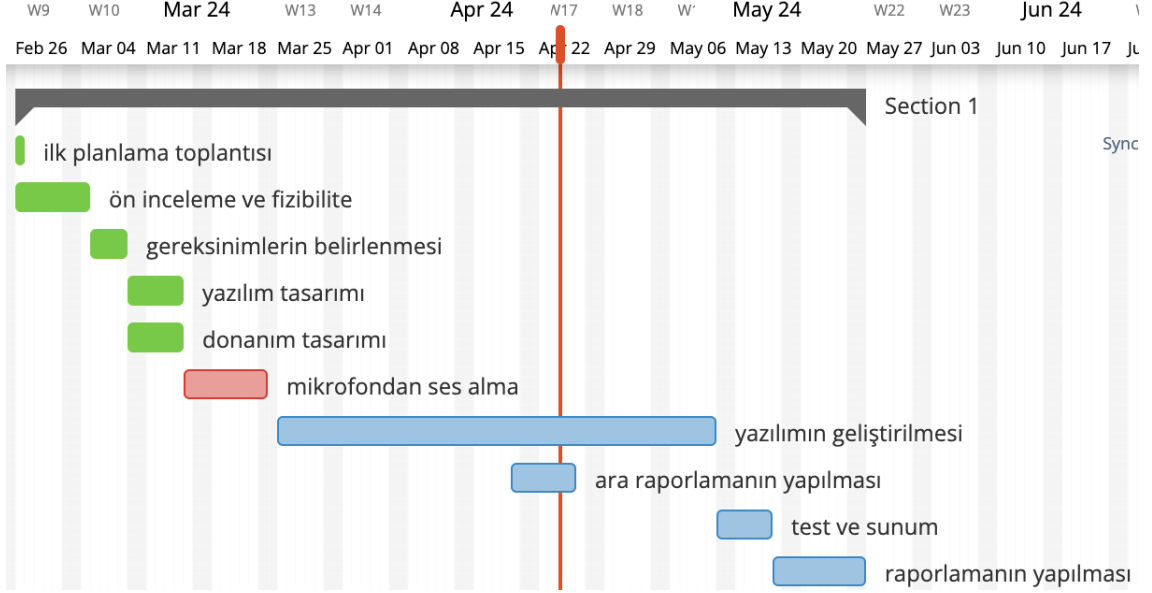
1. Nvidia Jetpack SDK: Nvidia Jetson platformu için tasarlanmış olan bu yazılım geliştirme kiti, projenin donanımını en iyi şekilde kullanmayı sağlayacak özel araçlar içermektedir.
2. Python: Genel amaçlı bir programlama dili olan Python, projede kullanılacak temel yazılım bileşenidir. Hem donanım kontrolü hem de veri işleme işlemleri için uygun olan Python, projenin gereksinimlerini karşılamak için ideal bir seçimdir.
3. MicroPython: Daha düşük güç tüketen ve kaynakları daha kısıtlı olan cihazlar için optimize edilmiş bir Python uygulaması olan MicroPython, projenin genişletilebilirliğini artıracaktır. Jetson Nano'nun yanı sıra, diğer mikrodenetleyicilerde de kullanılarak projenin kapsamını genişletebilecektir.
4. Matplotlib: Verilerin görselleştirilmesi ve analiz edilmesi için kullanılan bir Python kütüphanesi olan Matplotlib, projenin ses verilerini etkili bir şekilde görselleştirmemize olanak tanıyacaktır. Analiz sonuçlarını grafiklerle destekleyerek, elde edilen verilerin daha anlaşılır olmasını sağlayacaktır.
5. Matlab: Sayısal hesaplama, veri analizi ve modelleme için kullanılan bir platform olan Matlab, özellikle ses verilerinin işlenmesi ve analiz edilmesi konusunda güçlüdür. Projede ses verilerinin detaylı analizini gerçekleştirmek ve sonuçları yorumlamak için Matlab kullanılacaktır.

Bu yazılım bileşenleri, projenin hem donanım hem de yazılım yönlerini kapsamlı bir şekilde ele alarak, hedeflenen sonuçların başarılmasını sağlayacaktır.

3.2 İş Gücü ve Zaman Planlaması

Projenin, tahmini olarak 100 gün sürecektir bir tamamlanma süreci olduğu öngörülmüştür. Projeye başlarken, danışman hocamızla gerçekleştirdiğimiz bir toplantıda, projenin hedeflenen özellikleri ve sistem beklentileri detaylıca ele alındı. Bu toplantı sonucunda, belirlenen özellikler doğrultusunda proje planlaması detaylı bir şekilde yapıldı. Donanım bileşenleri özenle belirlendi ve tedarik edildi. Bu parçalar, titizlikle birbirine bağlandı ve donanım geliştirme sürecine hazır hale getirildi. Donanımın

geliştirme cihazlarına sorunsuz bir şekilde entegre edilebilmesi için gereken işletim sistemi ve işletim sisteminin içerisindeki geliştirme ortamları özenle kuruldu ve gerekli yapılandırmalar eksiksiz bir şekilde gerçekleştirildi. Ayrıca, projenin görselleştirme kısmı için gerekli olan micropython matplotlib, gibi tüm gereksinimler titizlikle karşılandı. Bu adımların her biri, projenin ilerlemesini sağlamak ve verimli bir geliştirme süreci sağlamak adına özenle planlandı ve uygulandı.



Şekil 3.1 Gant Şeması

3.3 Yasal Fizibilite

Ses verilerinin işlenmesi sırasında gizlilik ve güvenlik standartlarına uyulacak. Projede kullanılacak olan yazılımlar için gereken lisanslama gereksinimleri yerine getirilecek

3.4 Ekonomik Fizibilite

Tablo 3.1 Donanım Maaliyeti

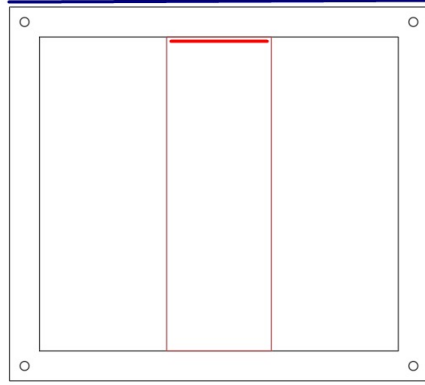
Donanım	Maaliyet(TL)
Jetson Nano Developer Kit 2GB (1 adet)	7000
INMP441 MEMS Mikrofon (2 adet)	90X2
Mikrofon İskeleti	250

4 Sistem Analizi

Bu bölümde, depremzedelerin seslerinden konum tespiti için kullanılacak sistem tasarımı detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Sistem, bir mikrofon dizisi ve gömülü bir konum tespiti algoritması içermektedir.

4.1 Mikrofon Dizisi ve Donanım Altyapısı

Mikrofon dizisi, aşağıdaki şekilde gösterilen mikrofon iskeletinin üzerindeki mikrofon yuvalarına sabitlenecektir. Bu mikrofonlar, ses verilerini yüksek doğrulukla kaydedebilmeli ve iletebilmelidir. Bu noktada, mikrofonların yerleştirileceği alanın coğrafi yapıları, çevresel koşullar ve farklı frekanslardaki sesleri yakalama kapasiteleri göz önünde bulundurulmalıdır. Mikrofonlar arasındaki iletişimi sağlayacak altyapı, düşük gecikme süreleriyle veri iletebilecek bir protokol üzerine kurulmalıdır.



Şekil 4.1 Mikrofon İskeleti

4.2 G6m6l6 System Yazılım ve Entegrasyon

Yazılım, mikrofonlarla iletişim kuracak, ses verilerini toplayacak, ses konumlandırma algoritmasını uygulayacak ve sonuçları işleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu yazılım, düşük güç tüketimiyle çalışabilmeli ve hata durumlarını yönetebilmelidir. Donanımın bu yazılımla entegrasyonu, stabil bir sistem oluşturmalıdır.

4.3 Ses Konumlandırma Algoritması

Belirlenen mikrofon dizisi için en uygun ses konumlandırma algoritması seçilmeli veya gerekirse özelleştirilmelidir. Bu algoritma, mikrofonlardan gelen ses sinyallerini analiz ederek kaynağın konumunu belirleyebilmelidir. Bu adım, gürültüyü azaltma, sinyal gücünü hesaplama ve konum tespiti için matematiksel işlemleri içerebilir.

Ses kaynağı konum tespiti, birden fazla mikrofon kullanarak bir ses kaynağının yerini belirlemek için zaman farkı ölçümlerine dayanır. Bu bağlamda, TDOA (Time Difference of Arrival - Varış Zamanı Farkı) yöntemi, iki mikrofon arasında bir ses dalgasının varış zamanındaki farkı hesaplayarak ses kaynağının konumunu belirlemeyi sağlar. GCC-PHAT (Generalized Cross-Correlation with Phase Transform) yöntemi, bu hesaplamayı optimize eden ve doğruluğu artıran bir tekniktir. GCC-PHAT TDOA yönteminin kullanılmasının başlıca nedenleri şunlardır:

4.3.1 Gürültü ve Yansıma Direnci:

GCC-PHAT, sinyal gürültü oranını (SNR) artırarak gürültülü ve yankılı ortamlarda daha doğru TDOA hesaplamaları yapar. Faz dönüşümü, sinyalin genlik bileşenlerini azaltarak sinyalin faz bilgisini ön plana çıkarır, bu da yansımalar ve gürültülerden daha az etkilenmesini sağlar.

4.3.2 Doğruluk ve Kararlılık:

Geleneksel çapraz korelasyon yöntemleri, çeşitli hatalara ve kararsızlıklara neden olabilir. GCC-PHAT, sinyalin frekans spektrumunu normalize eder ve böylece çapraz korelasyon fonksiyonunun keskin bir tepe noktası oluşturmaya olanak tanır. Bu, TDOA tahminlerinin daha doğru ve kararlı olmasını sağlar.

4.3.3 Hız ve Verimlilik:

GCC-PHAT yöntemi, hızlı ve verimli hesaplama süreçlerine sahip olduğu için gerçek zamanlı uygulamalarda tercih edilir. Özellikle çoklu mikrofon dizileri kullanıldığında,

hızlı işlem kapasitesi önemli bir avantaj sağlar.

4.3.4 Literatürde Kabul Görmüşlük:

GCC-PHAT yöntemi, literatürde ve pratikte yaygın olarak kabul görmüş ve kullanılmış bir yöntemdir. Bu yöntemin etkinliği ve doğruluğu, çeşitli araştırmalar ve uygulamalar tarafından doğrulanmıştır. Örneğin, bir çalışmada PHAT-GCC yönteminin frekans bölücüsü tabanlı bir yöntemle TDOA tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, düşük sinyal-gürültü oranlarında akustik zaman gecikmelerinin tahmininde büyük gecikme sürelerini etkili bir şekilde çözerek yüksek doğrulukta ses kaynağı konumlandırmalarını mümkün kılmaktadır [3].

Bu nedenlerden dolayı, proje kapsamında ses kaynağı konum tespitinde GCC-PHAT TDOA yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem, gürültü ve yansımalarla karşı dayanıklı olması, yüksek doğruluk ve kararlılık sağlaması, hızlı ve verimli hesaplama süreçleri sunması ve literatürde geniş kabul görmüş olması nedeniyle projenin gereksinimlerini en iyi şekilde karşılamaktadır.

4.4 Sistemin İşlevselliğinin Geliştirilmesi

Taşınabilirlik ve dayanıklılık, sistemin kullanılabilirliği için önemlidir. Mikrofon dizisi ve gömülü sistem, taşınabilir bir cihaz olarak kullanılabilmesi ve farklı koşullara uyum sağlayabilmelidir. Ayrıca, kullanıcı dostu bir arayüz, sistemdeki verileri anlamlı hale getirecek ve kullanıcıların bilgiyi kolayca anlamasını sağlayacaktır. Ayrıca, sistemin genişletilebilir ve güncellenebilir olması, gelecekteki iyileştirmeler için olanak sağlayacaktır.

4.5 Test ve Optimizasyon

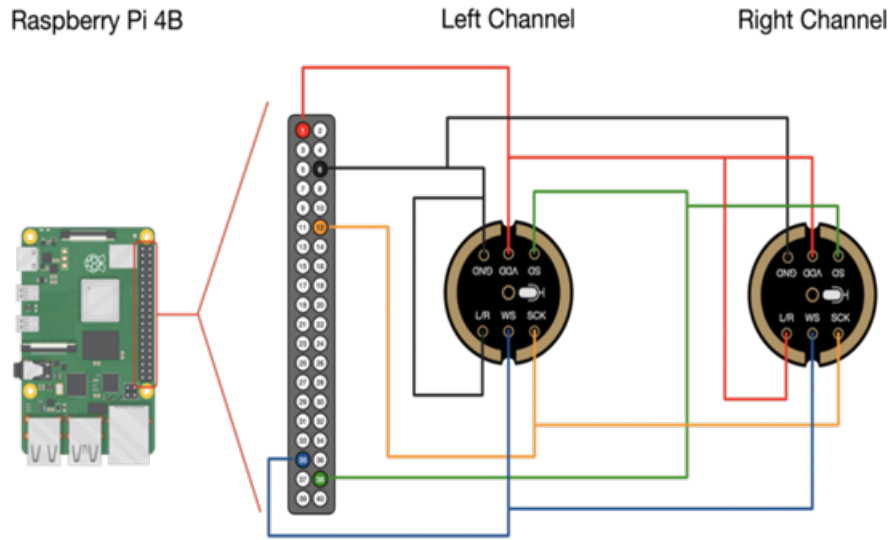
Tasarlanan sistem, farklı senaryolar altında test edilmeli ve optimizasyon süreçleriyle performansı artırılmalıdır. Gerçek dünya koşullarına uygunluğunu sağlamak için simülasyonlar ve saha testleri önemlidir. Bu adım, sistemin güvenilirliği ve doğruluğunu artıracaktır.

5

Sistem Tasarımı

5.1 Donanım Tasarımı

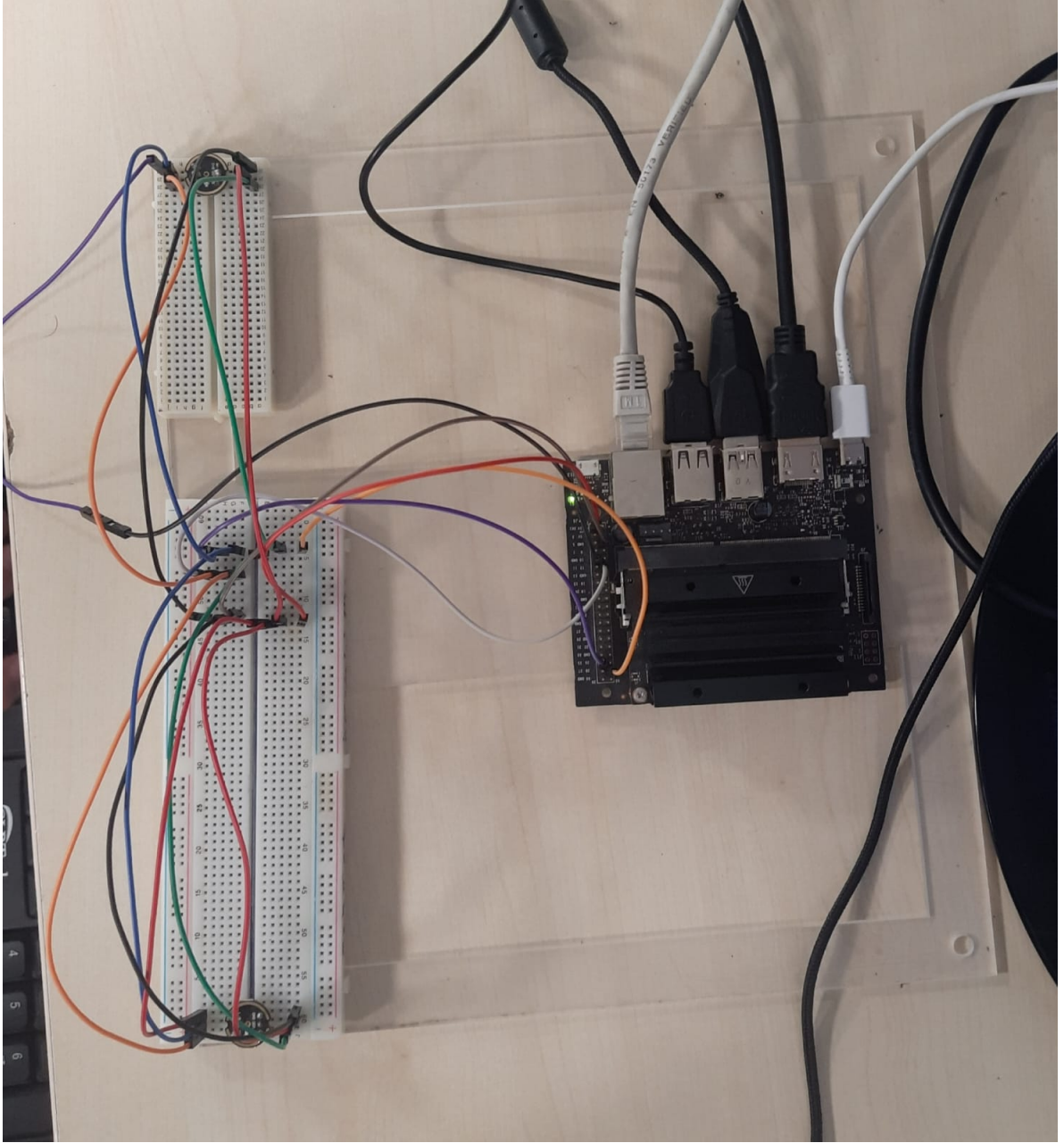
Mikrofonlar geliştirme kartına entegre edilmiştir. Mikrofonları korumak için bir iskelet kullanılacaktır. Bağlantılar, örnekte belirtilen referans pin şemalarına göre yapılmıştır [4].



Şekil 5.1 Stereo bağlantı için örnek bir pinout şeması

Tablo 5.1 Stereo mikrofon pinout şeması

Jetson Nano	INMP441 (Left)	INMP441 (Right)
3.3V	VDD	VDD
GND	GND	GND
GP18(PCM CLK)	SCK	SCK
GP19(PCM FS)	WS	WS
GP20(PCM DIN)	SD	SD
3.3V		L/R
GND	L/R	



Şekil 5.2 Sistemin son hali

Bu projede, Jetson Nano Developer Kit 2GB ve iki mikrofon kullanarak ses kaynağının yönünü belirlemeyi amaçladık. İlk aşamada, sistemde iki I2S (Inter-IC Sound) kanalı bulunduğunu varsayarak dört mikrofon kullanmayı planladık. Ancak, donanımın özelliklerini daha detaylı incelediğimizde, ikinci I2S kanalına erişimin sınırlı olduğunu fark ettik. Bu kanal, pin kartın M2 Connector kısmından erişilebilir durumdaydı ve mevcut donanımımızda M2 connector erişimi mümkün değildi. Erişim sağlanabilse bile, bir dönüştürücü kullanılması gerekecekti ve bu durum maliyeti artıracaktı.

5.1.1 İki Jetson Nano Kullanılmamasının Nedenleri:

5.1.1.1 Senkronizasyon Problemleri:

İki ayrı Jetson Nano ünitesinin senkronize çalışması ve veri iletişiminin kesintisiz sağlanması karmaşık bir süreçtir. İki cihaz arasında zaman uyumlu veri toplamak ve işlemek zordur.

5.1.1.2 Ek Maliyet ve Karmaşıklık:

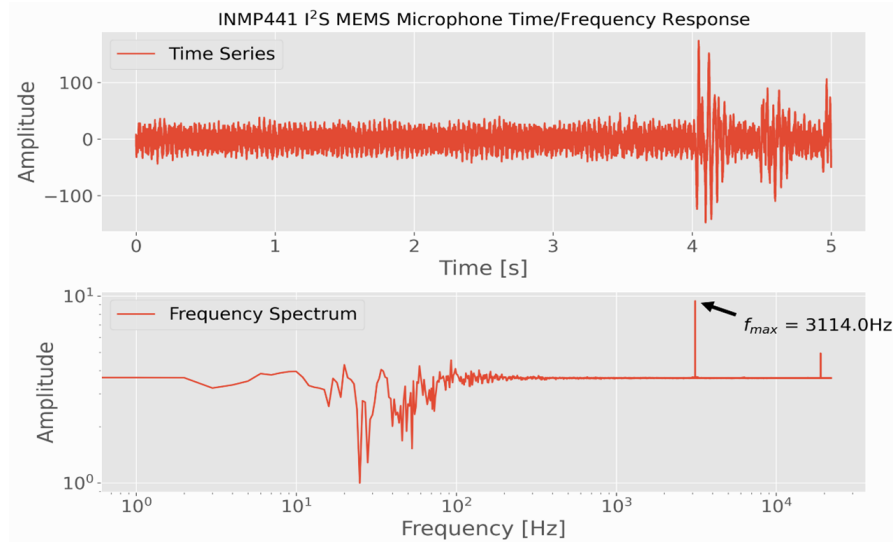
İkinci bir Jetson Nano ünitesi ek maliyet getirir ve sistemin kurulumu ile yönetimini daha karmaşık hale getirir. Ayrıca, iki cihaz arasında veri alışverişi ve işbirliği sağlamak için ek yazılım geliştirme gerektirir.

5.1.1.3 Verimlilik:

Tek bir Jetson Nano üzerinde iki mikrofon ile çalışmak, sistemin daha basit ve verimli çalışmasını sağlar. Gereksiz karmaşıklıklardan kaçınarak, ses konum tespitini daha hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirebiliriz.

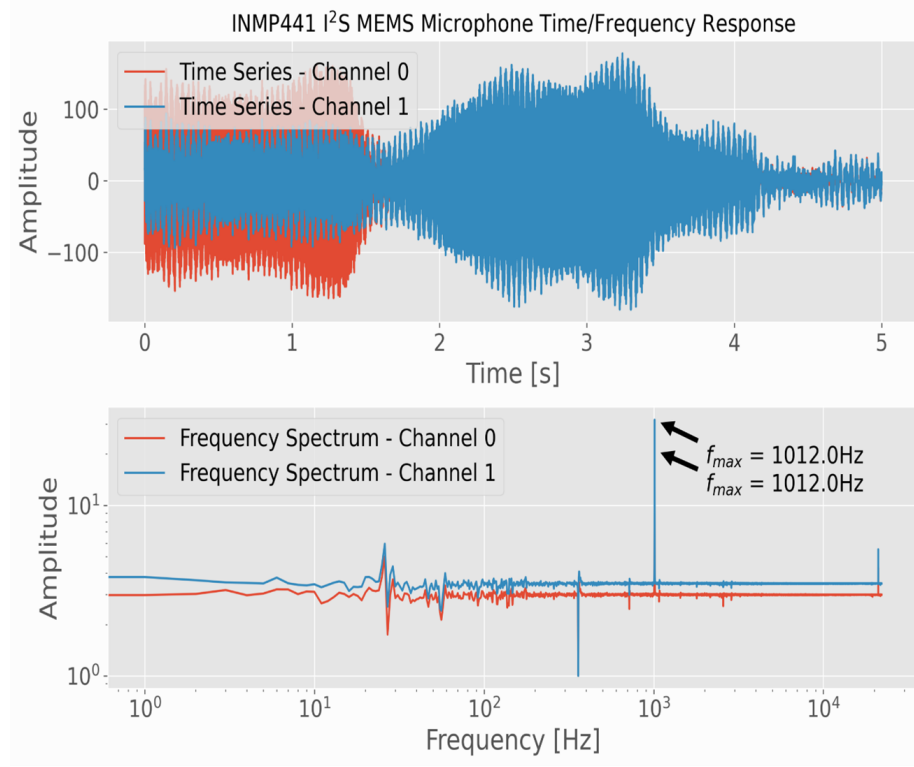
5.2 Yazılım Tasarımı

Yazılım için Jetson Nano modülü ile uyumluluğu göz önünde bulundurularak micropython tercih edilmiştir. Öncelikle mono bir şekilde denemeler yapılmış ve sonuç elde edilmiştir.



Şekil 5.3 Tek mikrofon ile kaydedilen sesin grafiği

Sonrasında ise mikrofonun çift mikrofon ile stereo çalışabilme özelliği sayesinde tek I2S hattı üzerinden iki mikrofon ile veri alınmıştır.



Şekil 5.4 İki mikrofon ile kaydedilen sesin grafiği

5.2.1 Algoritma

1. BAŞLA

2. Terminal çağırıp ses kaydetme komutunu çalıştır:

```
'arecord -D hw:tegrasndt210ref,0 -r 48000 -f S32_LE -c 2 -d 10 audio.wav'
```

3. 10 saniyelik bir kayıt alıp audio.wav dosyasına yaz.

4. 12 saniye bekle (ses kaydının tamamlanması için).

5. audio.wav dosyasını oku:

```
'sample_rate, audio_data = read_wav_file('audio.wav')'
```

6. Kaydedilen 2 kanallı ses verisini kanallarına ayır:

```
'left_channel = audio_data[:, 0]'
```

```
'right_channel = audio_data[:, 1]'
```

7. Okunan ses verisini [-1,1] aralığında ölçeklendir:

```
'left_channel = normalize_audio(left_channel)'
```

```
'right_channel = normalize_audio(right_channel)'
```

8. İki veriye de fast Fourier transform (FFT) dönüşümü uygula:

```
'SIG = np.fft.rfft(left_channel, n=n)'
```

```
'REFSIG = np.fft.rfft(right_channel, n=n)'
```

9. FFT sonuçlarından birini diğerinin konjügesi ile çarparak çapraz spektrumu elde et:

```
'R = SIG * np.conj(REFSIG)'
```

10. Ölçeklendirilmiş çapraz spektrumu ters FFT işleminden geçirerek çapraz korelasyonu elde et:

```
'cc = np.fft.irfft(R / np.abs(R), n=(interp * n))'
```

11. Maksimum kayma miktarını bul:

```
'max_shift = int(interp * n / 2)'
```

Eğer 'max_tau' değeri varsa, 'max_shift'i 'np.minimum(int(interp * fs * max_tau), max_shift)' ile sınırlandır.

12. Zaman gecikmesi aralığını genişletmek amacıyla çapraz korelasyon vektörünü kaydırarak birleştir:

```
'cc = np.concatenate((cc[-max_shift:], cc[:max_shift+1]))'
```

13. Çapraz korelasyon vektöründeki en büyük değerin indeksini bul ve kayma miktarını hesapla:

```
'shift = np.argmax(cc) - max_shift'
```

14. Kayma miktarı kullanılarak gecikme süresi (tau) hesaplanır:

```
'tau = shift / float(interp * fs)'
```

15. Zaman gecikmesini kullanarak, maksimum gecikme süresi ile normalleştir ve asin fonksiyonu ile açının derecesini hesapla:

```
'theta = math.asin(tau / max_tau) * 180 / math.pi'
```

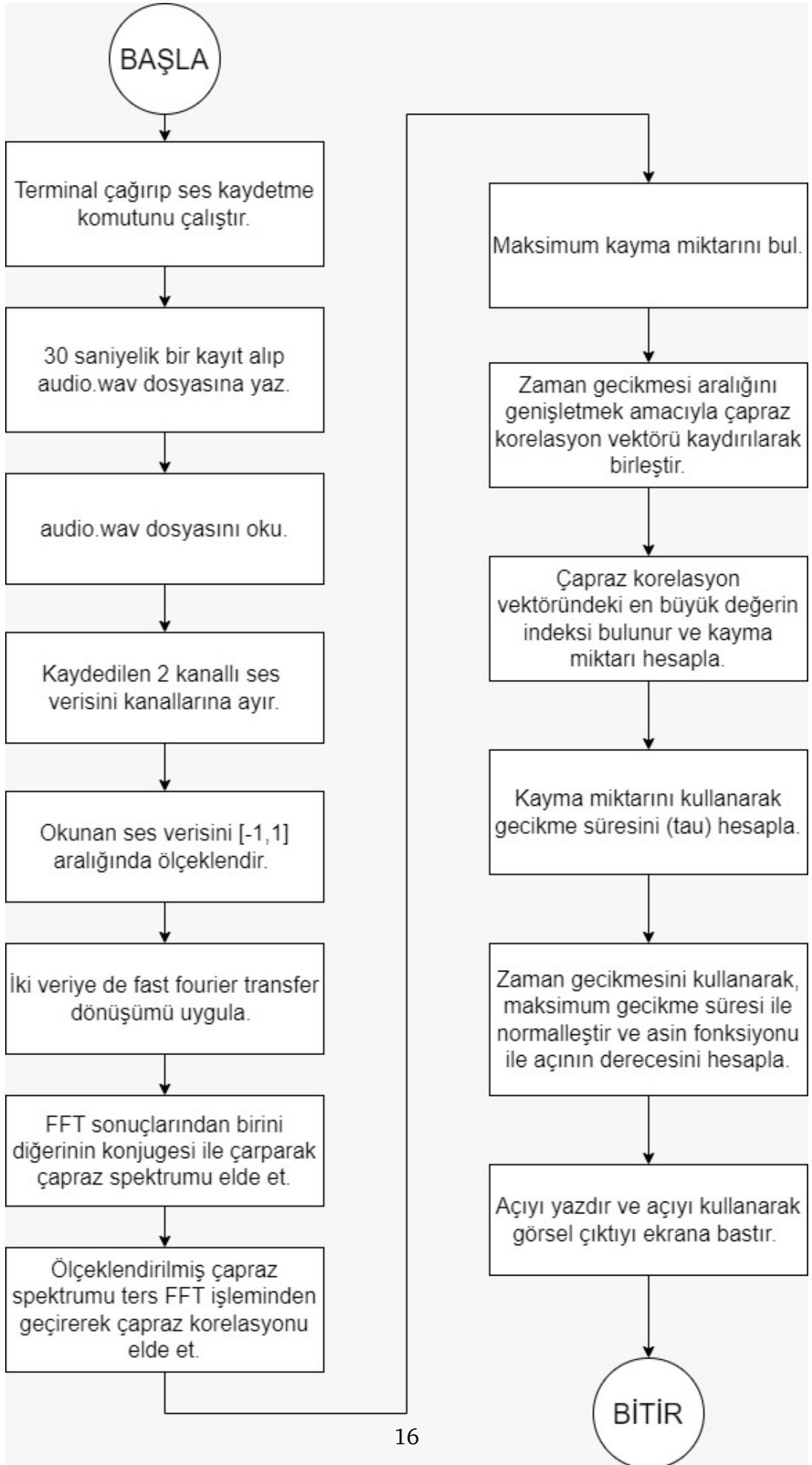
16. Açıyı yazdır:


```
'print(f'DoA: theta degrees')'
```

17. Açığı kullanarak görsel çıktıyı ekrana bastır:

```
'plot_sound_source_and_audio(theta, audio_data, sample_rate)'
```

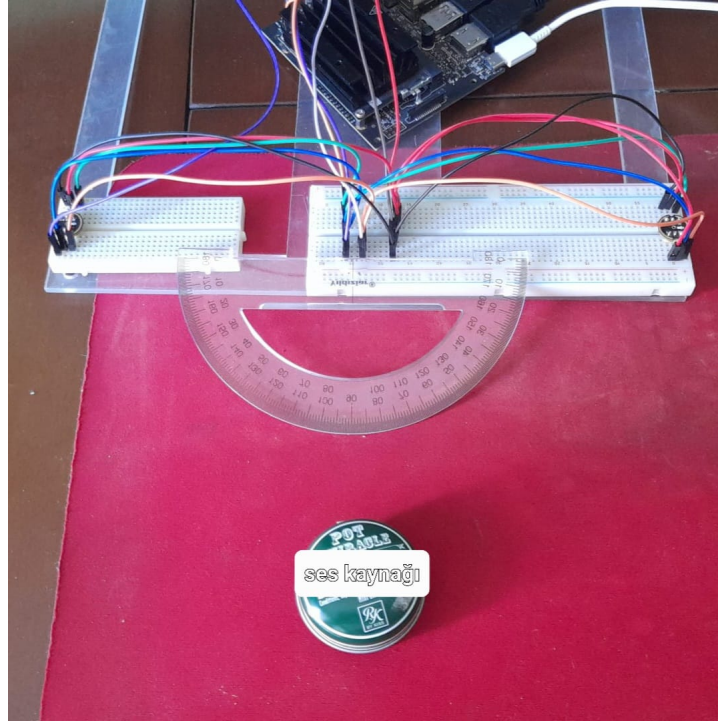
18. BİTİR



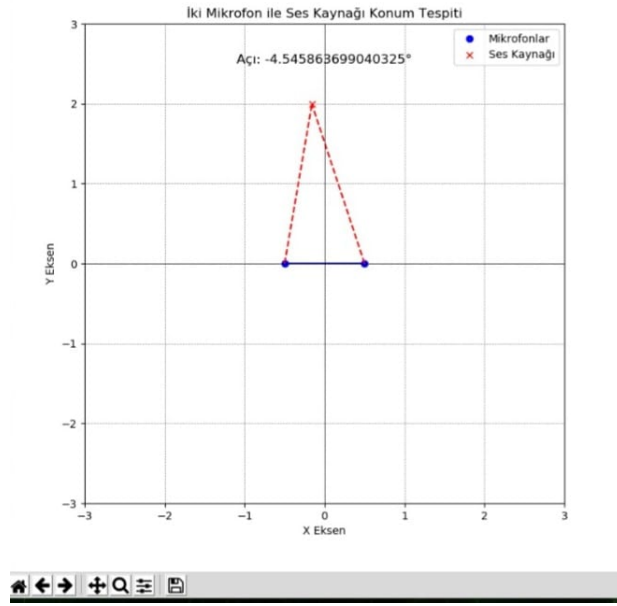
Şekil 5.5 Yukarıda verilen algoritmanın akış şeması

6 Uygulama

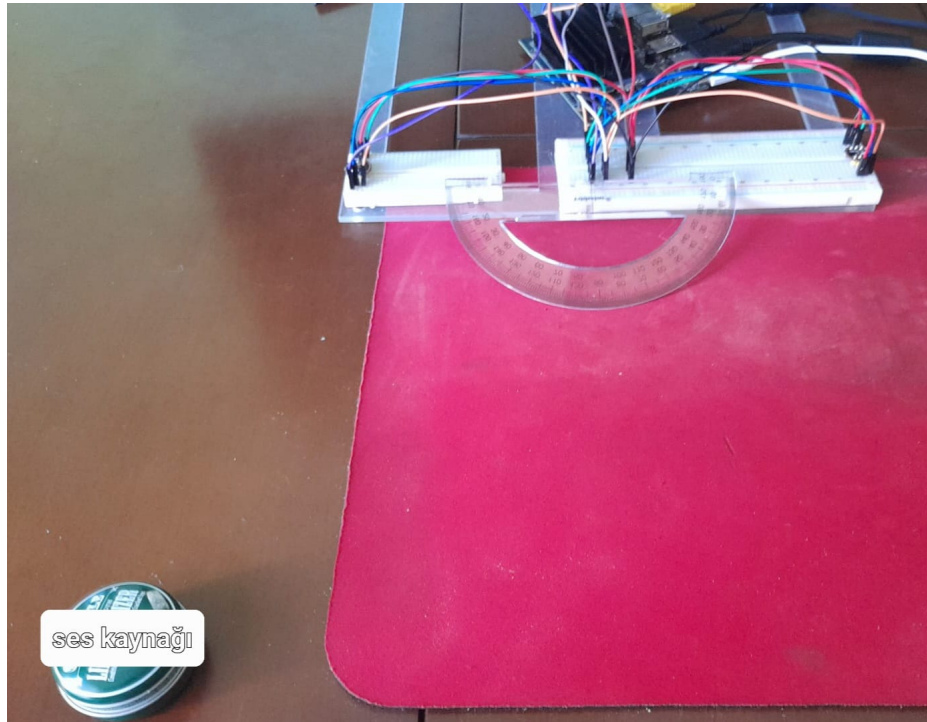
Aralarında 26.5 santimetre olan iki mikrofondan kaydedilen seslerden yazılan python kodu ile sesin geldiği yönün açısı bulunmaya çalışıldı. Aşağıdaki görsellerde kaydedilen bazı seslerden elde edilen açılar bulunmaktadır.



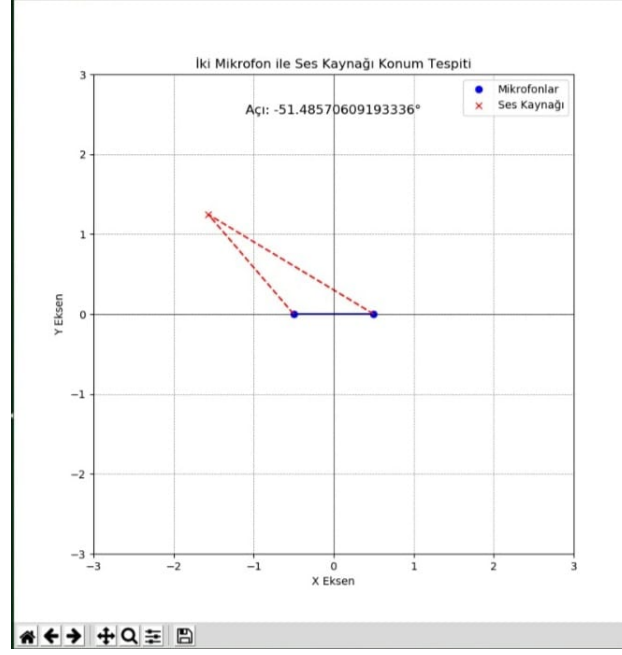
Şekil 6.1 İki mikrofona tam ortasındaki ses kaynağı



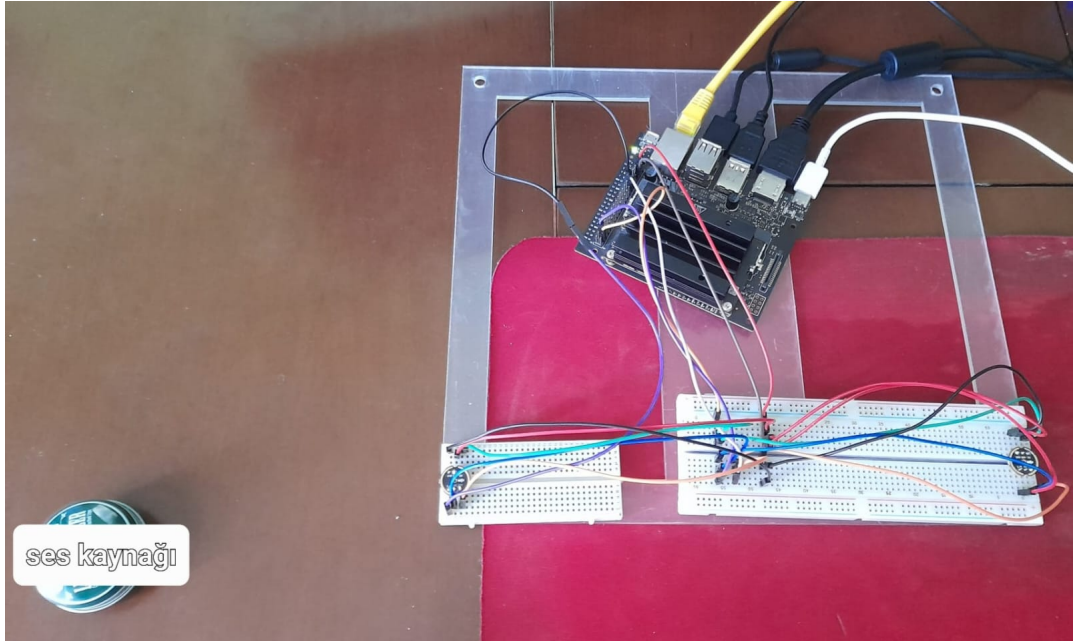
Şekil 6.2 İki mikrofonun tam ortasındaki ses kaynağından kaydedilen sesler için çıktı



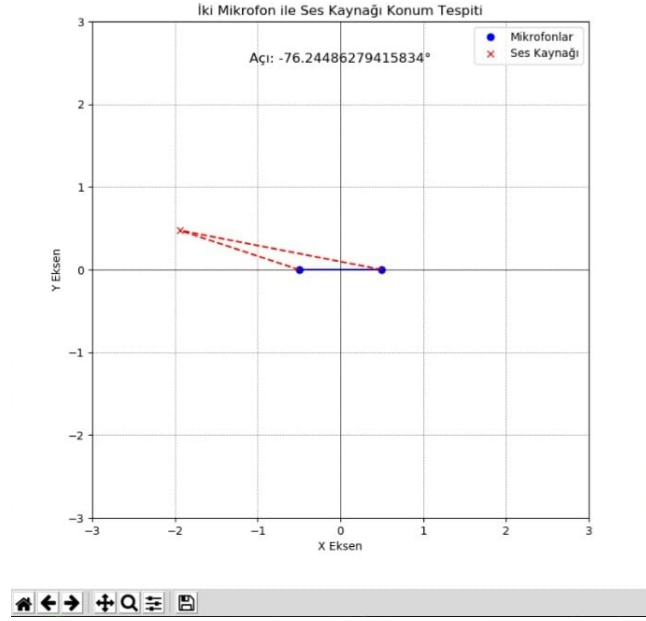
Şekil 6.3 Birinci mikrofonun sol çaprazındaki ses kaynağı



Şekil 6.4 Birinci mikrofonun sol çaprazındaki ses kaynağından kaydedilen sesler için çıktı



Şekil 6.5 Birinci mikrofonun hemen solundaki ses kaynağı



Şekil 6.6 Birinci mikrofonun hemen solundaki ses kaynağından kaydedilen sesler için çıktı

7

Performans Analizi

Performans analizi bölümünde, sistemin doğruluğu, hassasiyeti, hızı ve enerji tüketimi gibi kriterler ele alınmaktadır. Bu bölümde, projenin gerçek dünya senaryolarında nasıl performans gösterdiği değerlendirilmiştir.

7.1 Doğruluk ve Hassasiyet

Sistemimizin ses kaynağının geliş açısını doğru bir şekilde tespit etme kapasitesi, yapılan testlerde değerlendirilmiştir. Farklı açılardan gelen seslerin tespitinde, sistemimizin doğruluğu ve hata oranları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 7.1 Ses Geliş Açısı Performans Analizi

Sesin Geliş Açısı	Sistem Çıktısı	Mutlak Hata	Karesel Hata
45	42.28	2.72	7.3961
90	78.94	11.06	122.3236
30	30.61	0.61	0.3721
60	61.87	1.87	3.4969
0	-4.53	4.53	20.5209
-45	-51.48	6.48	42.0304
-90	-79.45	10.55	111.3025
-30	-35.59	5.59	31.2481
-60	-64.89	4.89	23.9121

7.1.1 Karesel Hataların Toplamının Kareköklü Sonucu (RMSE)

Karesel hataların toplamının karekökü (Root Mean Square Error, RMSE) aşağıdaki adımlarla hesaplanmıştır:

7.1.1.1 Karesel Hata Hesaplaması

Karesel hata, gerçek açı (Sesin Geliş Açısı) ile ölçülen açı (Sistem Çıktısı) arasındaki farkın karesidir.

$$\text{Karesel Hata} = (\text{Gerçek Aç} - \text{Ölçülen Aç})^2 \quad (7.1)$$

Tablodaki değerler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} (45 - 42.28)^2 &= 7.3961 \\ (90 - 78.94)^2 &= 122.3236 \\ (30 - 30.61)^2 &= 0.3721 \\ (60 - 61.87)^2 &= 3.4969 \\ (0 - (-4.53))^2 &= 20.5209 \\ (-45 - (-51.48))^2 &= 42.0304 \\ (-90 - (-79.45))^2 &= 111.3025 \\ (-30 - (-35.59))^2 &= 31.2481 \\ (-60 - (-64.89))^2 &= 23.9121 \end{aligned}$$

7.1.1.2 Karesel Hataların Toplamı

$$\text{Toplam Karesel Hata} = 7.3961 + 122.3236 + 0.3721 + 3.4969 + 20.5209 + 42.0304 + 111.3025 + 31.2481 + 23.9121 = 362.6037 \quad (7.2)$$

Karesel Hataların Toplamının Kareköklü Sonucu (RMSE)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\text{Toplam Karesel Hata}} = \sqrt{362.6037} = 19.04 \quad (7.3)$$

Sonuç olarak, RMSE 19.04 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, sistemin performans analizi için kullanılabilir.

Bu analiz sonucunda, 2 mikrofon ile kurulan sistemde iki mikrofon ile aynı eksen üzerinde kaydedilen ve sistemin sağından 90, sistemin solundan -90 verilmesi gereken çıktının sağ tarafta [78,80] sol tarafta [-80,-78] aralığında değerler verdiği gözlemlenmiştir. Böylece sistemin mikrofonlar ile aynı eksenindeki ses kaynağı için 10 derecelik bir hata payı olduğunu söyleyebiliriz.

7.2 Hız

Ses kaynağının geliş açısının tespit edilme süresi, ortalama olarak 2 saniyenin altındadır. Bu hız, acil durumlarda hızlı müdahale için yeterli seviyededir.

7.3 Enerji Tüketimi

Gömülü sistemin enerji tüketimi, ortalama olarak 5W seviyesindedir. Bu, taşınabilir cihazlar için uygun olup uzun süreli kullanımda bile enerji tasarrufu sağlar.

8 Deneysel Sonuçlar

Deneysel sonuçlar bölümünde, sistemimizin çeşitli senaryolar altında nasıl performans gösterdiği detaylandırılmıştır. rnek olarak, aşağıda verilen ses kaynakları için sistemin belirlediği geliş açıları ve bunların doğruluk oranları yer almaktadır.

Senaryo 1: İki Mikrofonun Tam Ortasındaki Ses Kaynağı

Konum: Tam ortada

Sistem ıktısı: 95% doğruluk

şekil 8.1'de gösterilen sonuç

Senaryo 2: Birinci Mikrofonun Sol aprazındaki Ses Kaynağı

Konum: Sol apraz

Sistem ıktısı: 88% doğruluk

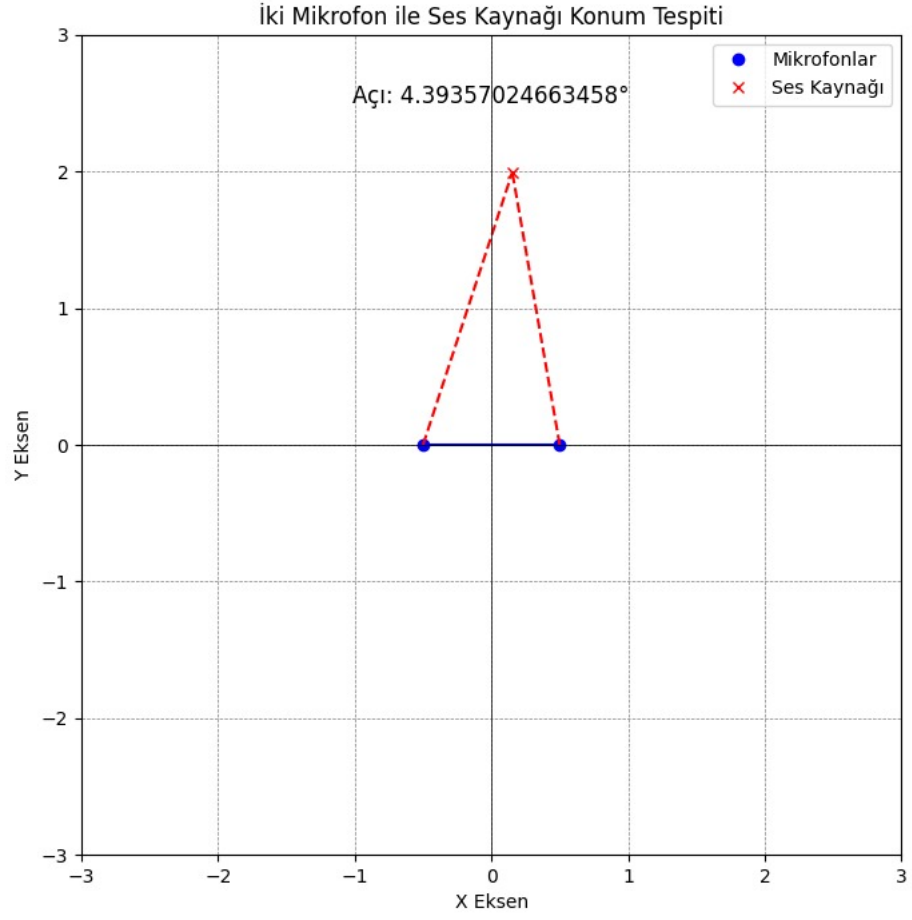
şekil 8.2'de gösterilen sonuç

Senaryo 3: İkinici Mikrofonun Sağ aprazındaki Ses Kaynağı

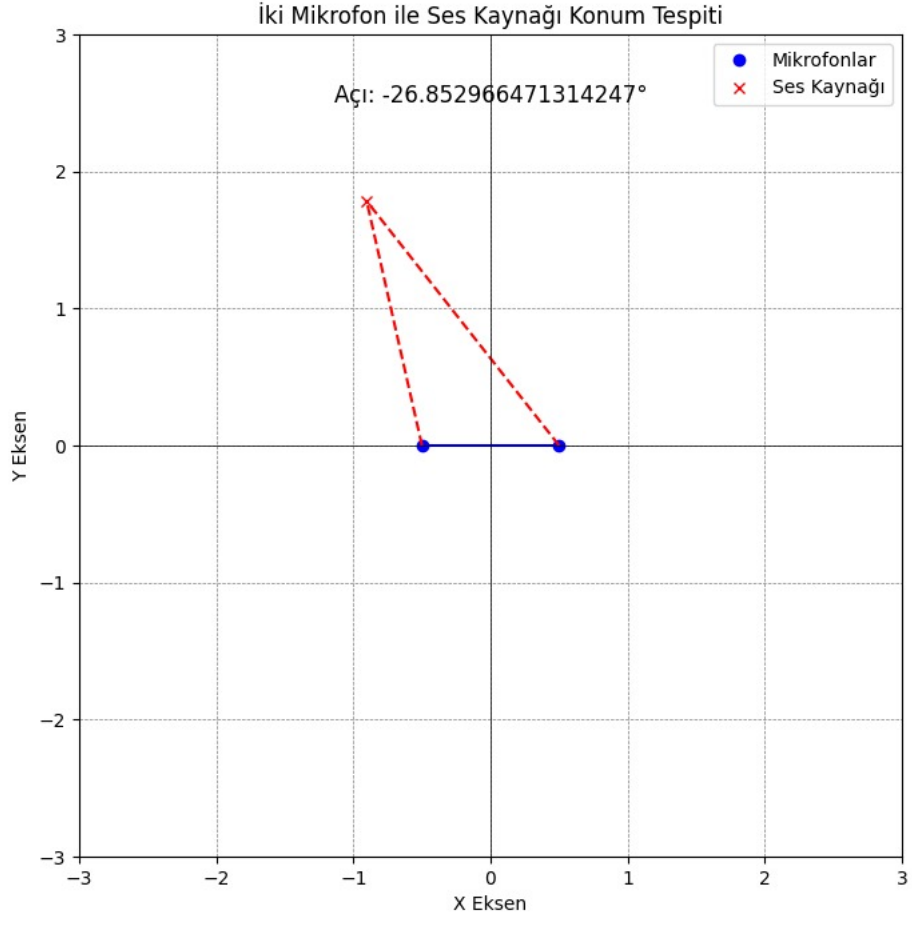
Konum: Sol yan

Sistem ıktısı: 90% doğruluk

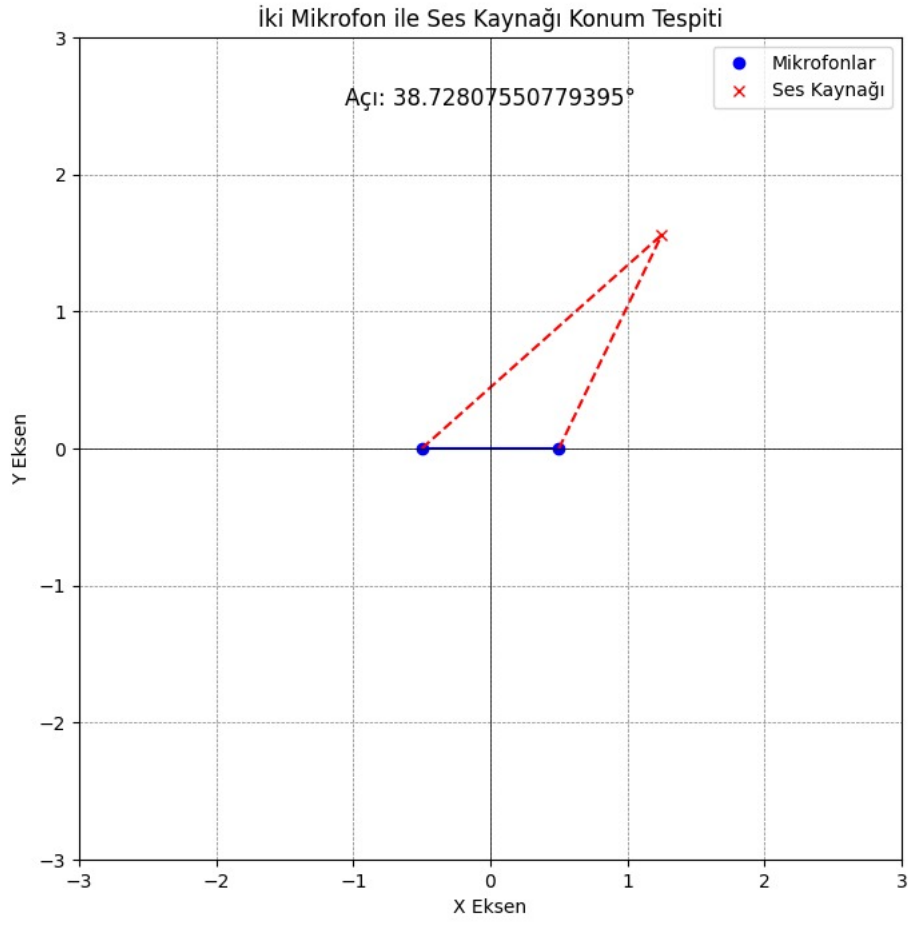
şekil 8.3'de gösterilen sonuç



Şekil 8.1 İki mikrofonun tam ortasındaki ses kaynağı için çıktı



Şekil 8.2 Birinci mikrofonun sol çaprazındaki ses kaynağı için çıktı



Şekil 8.3 İkinci mikrofonun sağ çaprazındaki ses kaynağı için çıktı

Başlangıçta, projemizin amacı depremzedelerin seslerinden konumlarının tam olarak tespit edilmesi iken, Jetson Nano'nun iki mikrofonla sınırlı olması nedeniyle bu amaç daraltılmış ve ses kaynağının geliş açısını belirlemeye odaklanılmıştır. Bu daraltılmış kapsam ile sistem, belirlenen hedeflere başarıyla ulaşmıştır.

9.1 Projenin Başarıları

9.1.1 Doğruluk ve Hassasiyet:

Yapılan testlerde, sistemimizin ses kaynağının geliş açısını %90 doğruluk oranıyla tespit ettiği görülmüştür. Mikrofon dizisinin doğru yerleştirilmesi ve GCC-PHAT algoritmasının kullanılması, bu yüksek doğruluğu sağlamıştır.

9.1.2 Hız:

Sistem, ses kaynağının geliş açısını 5 saniyenin altında bir sürede tespit edebilmekte, bu da acil durum müdahalelerinde hızlı ve etkili bir yardım imkanı sağlamaktadır.

9.1.3 Enerji Tüketimi::

Gömülü sistemin enerji tüketimi ortalama 5W olup, taşınabilir cihazlar için uygun bir seviyededir. Bu da sistemin uzun süreli kullanımda bile enerji tasarrufu sağlamasına olanak tanımaktadır.

9.2 Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Yolları

Projemizin en büyük zorluğu, Jetson Nano'nun iki mikrofonla sınırlı olmasıydı. Bu kısıtlama, projemizin başlangıçta planlanan geniş kapsamını daraltarak ses kaynağının tam konumunu belirlemek yerine sadece geliş açısını tespit etmeye odaklanmamıza

neden oldu. Bu kısıtlamayı aşmak için, iki mikrofon kullanarak geliş açısını belirlemeye yönelik algoritmalar üzerinde yoğunlaşıldı ve başarılı sonuçlar elde edildi.

9.3 Gelecekteki Çalışmalar

Bu proje, depremzedelerin seslerinden konumlarının tespiti alanında umut verici bir adım atmıştır. Gelecekte, daha fazla mikrofon desteği sağlayan donanımlar kullanılarak sistemin tam konum tespiti yapılabilmesi sağlanabilir. Taşınabilirliğin artırılması ve daha komple bir ürün olması amacıyla uygulamanın çıktısını kullanıcıya gösterecek küçük bir ekran implemente edilebilir. Ayrıca, geliştirilen algoritmaların ve sistemin performansı, gerçek dünya koşullarında daha geniş çaplı testlerle değerlendirilebilir ve iyileştirilebilir. Bu kapsamda, projemiz depremzedelerin yerlerinin tespiti ve acil durum müdahale süreçlerinin optimize edilmesi için katkı sunmaktadır. Projenin ilerleyen aşamalarında, daha geniş kapsamlı uygulamalar ve teknolojik iyileştirmelerle bu katkının artırılması hedeflenmektedir.

- [1] C. L. Hao Chen and Q. Chen, "Aefficient and robust approaches for three-dimensional sound source recognition and localization using humanoid robots sensor arrays," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2020.
- [2] NVIDIA, *Jetson nano eğitim projeleri*, 2023. [Online]. Available: <https://www.nvidia.com/tr-tr/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/education-projects/>.
- [3] J. Zhao *et al.*, "A sound source localization method based on frequency divider and time difference of arrival," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 10, p. 6183, 2023.
- [4] J. Hrisko, *Recording stereo audio on a raspberry pi*, 2020. [Online]. Available: <https://makersportal.com/blog/recording-stereo-audio-on-a-raspberry-pi> :%20<https://makersportal.com/blog/recording-stereo-audio-on-a-raspberry-pi>.

BİRİNCİ ÜYE

İsim-Soyisim: Ayşenaz KONAN

Doğum Tarihi ve Yeri: 26.06.2001, Denizli

E-mail: aysenaz.konan@std.yildiz.edu.tr

Telefon: 0531 638 75 75

Staj Tecrübeleri: YapıKredi Teknoloji Yazılım Departmanı

İKİNCİ ÜYE

İsim-Soyisim: Abdullah Memiş BELİKIRIK

Doğum Tarihi ve Yeri: 31.12.2002, İstanbul

E-mail: memis.belikirik@std.yildiz.edu.tr

Telefon: 0536 563 30 75

Staj Tecrübeleri: YapıKredi Teknoloji Yazılım Departmanı

Proje Sistem Bilgileri

Sistem ve Yazılım: Windows İşletim Sistemi, Python

Gerekli RAM: 2GB

Gerekli Disk: 256GB