

2023
Aralık

Mühendislikte Araştırma ve **DEĞERLENDİRMELER**

EDİTÖR

Doç. Dr. Vedat ÇAVUŞ

İmtiyaz Sahibi • Yaşar Hız
Genel Yayın Yönetmeni • Eda Altunel
Yayına Hazırlayan • Gece Kitaplığı
Editörler • Doç. Dr. Vedat ÇAVUŞ

Birinci Basım • Aralık 2023 / ANKARA

ISBN • 978-625-425-424-6

© copyright
Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan
hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı
Adres: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt
No: 22/A Çankaya/ANKARA Tel: 0312 384 80 40

www.gecekitapligi.com
gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt
Bizim Buro
Sertifika No: 42488

Mühendislikte Araştırma ve Değerlendirmeler

Aralık 2023

Editör:
Doç. Dr. Vedat ÇAVUŞ

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

PLASTİKLERİN ULTRASONİK KAYNAK YÖNTEMİ VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

Gülđenur HAM, Ahmet DEMİRER1

BÖLÜM 2

BURDUR - ACIGÖL BÖLGESİNİN OTOKTON VE ALLOKTON BİRİMLERİ, FAYLARI VE SİSMOTEKTONİĞİ

Murat ŞENTÜRK31

BÖLÜM 3

MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARIN DÜNYA BUGÜNÜ

Gülşah ÖNER.....63

BÖLÜM 4

EKLEMELİ ÜRETİM YÖNTEMİ ÜZERİNE YENİ BİLGİLER

GÜLŞAH ÖNER81

BÖLÜM 5

KURU SÜRTÜNMELİ YATAKLARIN ÜRETİMİ VE ENDÜSTRİDEKİ KULLANIMI

Kadir GÜNGÖR, Ahmet DEMİRER93

BÖLÜM 6

ALGORITMA PARAMETRE SEÇİMİNİN MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN OPTİMİZASYON PROBLEM PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Ahmet Arif ULUSLU115

BÖLÜM 7

FAZ GEÇİŞLİ DAVRANIŞIYLA VO₂ İÇERİKLİ TERMOKROMİK CAM KAPLAMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Lale CİVAN, Semra KURAMA127

BÖLÜM 8

3-D BASKILI VE DONATILI BETONLARIN MALZEME ÖZELLİKLERİNDEKİ SON GELİŞMELER VE ANALİZLERİ

Sadık Alper YILDIZEL 153

BÖLÜM 9

BİTKİSEL ATIK KÜLÜNÜN YAPI MALZEMESİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Aylin AKYILDIZ 169

BÖLÜM 10

YAPILARDA 3 BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİSİ

Aylin AKYILDIZ 179

BÖLÜM 11

PASTIRMA VE SUCUK ÖRNEKLERİNDEN İZOLE EDİLEN LAKTİK ASİT BAKTERİLERİNİN BAZI FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Özlem ERTEKİN 193

BÖLÜM 12

GIDALARDAKİ İSİL İŞLEM TOKSİKANTLARI: KLOROPROPANOLLERİN OLUŞUM MEKANİZMALARI, ANALİZ YÖNTEMLERİ VE SAĞLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Elif EKİZ 209

BÖLÜM 13

YAPAY ZEKÂ TABANLI GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE KARACİĞER KANSERİNİN TESPİTİ

Aylin AKYILDIZ 229

BÖLÜM 14

KOMPOZİT MALZEME ÇEŞİTLERİ UYGULAMA ALANLARI VE GELECEKTEKİ DURUMU ÜZERİNE ARAŞTIRMA

Abdülhadi KOŞATEPE 243

BÖLÜM 15

A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA DEMİR DİFÜZYONU, DÖKÜM SICAKLIĞI VE SIVI METAL TEMİZLİĞİNİN AKICILIĞA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mehmet GAVGALI, Murat ÇOLAK, Melek DURMUŞ 263

BÖLÜM 16

OTONOM ARAÇLARDA KULLANILAN SENSÖRLERİN İNCELENMESİ

Ferhat AĞAÇ, Arif BAŞGÜMÜŞ, Mustafa NAMDAR,

Güneş YILMAZ 281



OTONOM ARAÇLARDA KULLANILAN SENSÖRLERİN İNCELENMESİ

Ferhat AĞAÇ¹

Arif BAŞGÜMÜŞ²

Mustafa NAMDAR³

Güneş YILMAZ⁴

1 Yüksek Lisans Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hibrid ve Elektrikli Taşıtlar Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye, 502338009@ogr.uludag.edu.tr,

ORCID: 0009-0008-3055-5951

2 Dr. Öğr. Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, basgumus@uludag.edu.tr,

ORCID: 0000-0002-0611-3220

3 Doç. Dr. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, mustafa.namdar@dpu.edu.tr,

ORCID: 0000-0002-3522-4608

4 Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, gunesy@uludag.edu.tr,

ORCID: 0000-0001-8972-1952

Giriş

Ulaşım sektöründe büyük gelişmeler ortaya çıkmış ve çıkmaya devam etmektedir. Ulaşım sektörünün en önemli parçalarından biri olan karasal ulaşım araçları her geçen gün gelişmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte insan faktöründen kaynaklanan hataları minimuma indirmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla sensör teknolojisi alanında çalışmalar yapılmış ve modern bir araç üzerinde onlarca sensör konumlandırılmıştır. Sensör teknolojisinin de gelişimiyle birlikte ulaşım sektöründe bir basamak daha atılmış ve insan faktörünü tamamen ortadan kaldırmaya yönelik adımlar atılmaktadır. Bunlardan biri otonom araçların kullanıma sunulması olarak gösterilebilir. Otonom araçlar üzerinde çeşitli amaçlara hizmet eden sensörler bulunmakla birlikte, bunlardan RADAR (Radio Detection and Ranging), LiDAR (Light Detection and Ranging), kameralar ve ultrasonik sensörler en önemlileri olarak sayılabilir.

Sensör ve iletişim teknolojisindeki önemli ilerlemeler ve engel tespit teknikleri ile algoritmaların güvenilir bir şekilde uygulanmasıyla birlikte otonom sürüş, ulaşım ve mobilitenin geleceğinde devrim yaratabilecek önemli bir teknoloji haline gelmektedir. Sensörler, otonom bir sürüş sisteminde araç çevresinin algılanması açısından temel öneme sahiptir ve birden fazla entegre sensörün kullanımı ve performansı, otonom sürüşlü araçların güvenliğini ve fizibilitesini doğrudan belirleyebilir [1].

Otomotiv radarları, LiDAR, ultrason ve kameralar gibi diğer sensörlerle birlikte, sürücüsüz araçların ve gelişmiş sürücü asistanı sistemlerinin (Advanced Driver-Assistance Systems, ADAS) omurgasını oluşturur. Bu teknolojik gelişmeler, radarlardan/sensörlerden kontrolöre kadar uzun bir sinyal işleme yoluna sahip son derece karmaşık sistemler tarafından sağlanmaktadır. Otomotiv radar sistemleri, nesnelerin ve engellerin, konumlarının ve araca göre hızlarının algılanmasından sorumludur. Milimetre-dalga (mm-dalga) yarı iletken teknolojisindeki ilerleme ile sinyal işleme tekniklerinin gelişmesi, otomotiv radar sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır [2].

LiDAR'lar, çevrelerindeki nesneleri algılamak ve mesafe, hız ve konum bilgilerini elde etmek için lazer ışını kullanırlar. LiDAR'lar

genellikle 360° görüş sağlamak için aracın üzerine monte edilir ve aracın etrafındaki nesnelerin üç boyutlu haritasını oluştururlar. Ultrasonik sensörler ise kaynaktan iletilen akustik dalgaların yansımından faydalanarak mesafe, konum gibi çevresel bilgileri elde ederek otonom sürüş için katkı sağlarlar.

1. Otonom Araçlarda Kullanılan Sensör Çeşitleri

Akıllı araçlardaki sensörler, çeşitli sürüş aktivitelerinin yönetimine ait geniş bir yelpazeyi izlemeyi mümkün kılar. Elektronik algılama sistemleri ve veri işleme kapasitesi, sürücünün iş yükünü azaltır ve yenilikçi hizmetler sunar. Düzenli araçlarda geniş bir sensör yelpazesi kullanılır, bunların çoğu iç mekanizmalar hakkında bilgi toplamak içindir. Günümüzde otonom araçlar çevreleri analiz etmek için kritik olan dış sensörleri içermektedir. Bu sensörler, otomotiv ekipmanları fonksiyonel güvenliği için bir standart olan ISO 26262-1'e uygun olmalıdır. Bu nedenle, araç algılama artık sadece mekanik olmayıp, iç ve dış değişkenlerin analizine yapılmasını sağlar. Bu nedenle, sensörlerin temel bir sınıflandırması, algılanan değişkenlere göre, proprioseptif veya eksteroseptif olarak yapılır [3].

1.1. Proprioseptif Sensörler

Aracın dahili sistemleri tarafından üretilen sinyallerdeki değişiklikleri (motor hızı, akü seviyesi vb.) ölçer. Bu ölçümler, akıllı araçlara yönelik diğer ilgi konularının yanı sıra motor devri, sıvı seviyeleri, hızlanma gibi farklı spesifik ölçümlerin tahmin edilmesine olanak tanır. Tipik olarak proprioseptif sensörler aracın bir parçasıdır ancak araçta dolaylı olarak ölçümler gerçekleştirmek için üçüncü taraf cihazlarda da bulunabilirler [3].

1.2. Dış Algılayıcı Sensörler

Araçların kendilerini çevreleyen ortamdan gelen uyarılarla temas halinde olmasını sağlar. Bunun sonucunda mesafe, ışık şiddeti, ses genliği, yaya tespiti, çevredeki araçlar gibi ölçümler elde edilir. Bu nedenle, dış algılayıcı sensörlerden alınan ölçümler, araçlar tarafından anlamlı çevresel özellikler üretecek şekilde yorumlanır.

Proprioseptif ve dışsal algılama, çeşitli fiziksel değişkenleri, çevredeki değişiklikleri, ortamdaki değişiklikleri veya tepkileri tespit etmek amacıyla çevreyle etkileşimi almak ve ölçmek için ölçüm yöntemlerini kullanır. Pasif yöntemde sensörler ortamla etkileşime girmeden ölçüm yapabilir;

yani sensör çevreden enerji uyaranları toplar. Aktif yöntemde ise sensörler veri elde etmek için ortamla etkileşime girer; yani sensörün dışına dalgalar yayabilir ve ortamın bu dalgalara tepki düzeyini ölçebilir. Dalga yayıcılar sese, elektromanyetizmaya veya ışığa dayalı olabilir. Proprioseptif ve dış algılayıcı sensörler, OTS (Off-The-Shelf) cihazlarına yerleştirilebilir ya da araca sabitlenebilir ve sürücü destek sistemleriyle birlikte çalışabilir [3].

1.3. OTS Cihazları

OTS cihazları proprioseptif ve eksteroseptif sensörleri aynı anda kullanabilir. Örneğin akıllı telefonlar kendilerini özellikle sigorta telematiği için uygun kılan çok sayıda sensör (GNSS, kamera, mikrofon, ivmeölçer vb.) içerir. Bu arada, diğer sensörler özel donanım ve kurulum süreci gerektirir.

1.3.1. OBD-II Dongle'lar ve CAN Bus Okuyucular

Modern bir araç, genellikle mekanik, motor çalışması ve araç sistemleriyle ilgili yüzden fazla sensör içerebilir. Otomotiv sistemleri temel olarak üç alana yoğunlaşmıştır: güç aktarma organları, şasi ve gövde. Her biri, her sistemin ECU (Electronic Control Unit)'su tarafından yönetilen ve bir arama tablosunda yorumlanan, fiziksel miktarları ölçmek için bir dizi sensör içerir. Veriler, araç aktüatörlerini ve hız kontrolü, araç stabilitesi gibi performanslarını kontrol etmek için kullanılan profillerde saklanır. Belirli sensörlerin kullanımı aynı zamanda mevzuat ve güvenlik gibi diğer faktörlerle de ilişkilendirilebilir.

ECU'lardan gelen veri profilleri, OBD-II (On-Board Diagnostics) arayüzü aracılığıyla kontrol etmek için kullanılır. CAN (Controller Area Network) veri yolu üzerinden ECU'lar tarafından kontrol edilen araç alt sistemlerine erişim sağlar. Ayrıca OBD-II, otomotiv üreticileri tarafından teşhis ve veri analizi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, OBD-II yoluyla veri edinimi tek bir bağlantı noktasıyla sınırlıdır ve veriler, özel mesaj kodlarını tanımlayan her üreticiye özeldir. Bu arada, ticari OBD-II donanım kitleri ve CAN veri yolu okuyucuları aracın güç kaynağına bağlanır ve içerilerinde GNSS (Global Navigation Satellite Systems) veya ivmeölçer gibi ekstra sensörler bulunabilir [4].

1.3.2. Kara Kutu ve Rüzgarlık Cihazları

Genellikle, kara kutu ve rüzgarlık cihazları araç içine monte edilir. Bunlar, kendi kendine yeten sensör sistemleri ile donatılmıştır veya CAN

veri yolu aracılığıyla bilgi alabilirler. Bu cihazlar, sert hızlanma, frenleme veya çarpışma hakkında sürüş profillerini tanımlamak için bir GNSS ve bir ivmeölçer sensörü gömülüdür. Ayrıca, bir rüzgarlık cihazı, uzaktan yardımla sesli iletişim kurmak için bir SIM kart ve bir mikrofon içerebilir [3].

1.3.3. Araç Kameraları

Araç kamerası, genellikle ön panelin üzerine monte edilen ve aracın ön görünümünü kaydeden yerleşik bir kameradır. Yaygın kullanımlar arasında video gözetim hizmetleri sunmanın yanı sıra çarpışmaları ve yol tehlikelerini kaydetme imkanı sağlar. Kamera içerisindeki görüntü kareleri tarafından toplanan veri hacmi önemli olduğundan, toplanan görüntüler işleme sistemi tarafından önceden seçilir. Ek araç içi kamera işlevleri arasında jest ve ses biyometrisi bulunur. Bununla birlikte, bazı ülkelerde gizlilik endişeleri nedeniyle araç içi kameraların kullanımı sınırlıdır [5].

1.3.4. Akıllı Telefonlar

Akıllı telefonlar, iletişim ve algılama yeteneklerinin yanı sıra veri ve grafik işleme yeteneğine sahiptir. Akıllı telefonlar kendilerini gelişmiş bilgisayarlar haline getiren çeşitli teknolojilere sahiptir. Akıllı telefonlar, sürekli veri toplamayı sağlayan çok sayıda yerleşik sensöre sahiptir. Mobiliteye ek olarak, karmaşıklık, ayrıntı düzeyi ve yanıt süresi açısından özel gereksinimlere sahip çeşitli uygulamaların güçlendirilmesine olanak sağlar. Ayrıca akıllı telefonlar, Wi-Fi veya Bluetooth bağlantısı aracılığıyla OBD-II donanım kiti aracılığıyla CAN veri yolundan veri alabilir [6].

1.3.5. Giyilebilir Cihazlar

Akıllı telefonları tamamlayan giyilebilir cihazlar, insanın fizyolojik ve biyometrik sinyallerini izlemektedir. Akıllı araçlarda da güvenlik ve sürüş davranışı uygulamaları için kullanılmaktadır. Giyilebilir cihazlar arasında akıllı saatler, akıllı gözlükler, akıllı kasklar ve elektrokardiyogram (EKG) sensörleri bulunmaktadır [7].

OTS cihazlarındaki yerleşik sensörlerin dezavantajı, bunların araç uygulamaları için tasarlanmamış olması ve özelliklerinden dolayı hataları azaltacak algoritmalar gerektirmesidir. Bu nedenle araçlarda sabit sensörlerin kullanılması gerekmektedir. Harici ve araç içi izleme görevlerinde kullanılan dış algılayıcı sensörler bir sonraki bölümde anlatılmaktadır [6].

1.4. Araç Uygulamalarında Exteroseptif Sensörler

SAE J3016 sınıflandırma standardında açıklandığı gibi belirli bir özerklik seviyesine sahip araçlarla ilgili olarak, çalışma sırasında araçları denetlemek, araç çevresi hakkında doğru bilgi almak için izleme sistemlerinde dış algısal algılama kullanılabilir. Dış algılayıcı sensörlerin temel özellikleri arasında, araç kabininde ve farklı aşırı koşullardaki (yağmur, sis, kar, gece vb.) dış ortamlarda çalışabilmesi yer almaktadır. Ayrıca, aracın çevresine ilişkin bilgiler, trafik çatışmalarına hangi hususların dahil olduğunu daha iyi anlamaya yardımcı olabileceği gibi, sürücü/yolcu güvenliğiyle ilgili diğer parametreleri de iyileştirmeye destek verebilir [3].

1.4.1. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS)

Bazı OTS cihazları, gömülü bir GNSS alıcısı kullanarak LBS (Location Based Services) uygular. GNSS sistemleri, özel coğrafi sabit yapay uydulardan gelen trilaterasyon sinyalleri aracılığıyla, yeryüzünde oldukça doğru bir lokalizasyona olanak sağlar. GNSS sistemleri, PNT (Positioning, Navigation and Scheduling) hizmetleri sağlayan MEO (Middle Earth Orbiting) uydu takımyıldızlarından oluşur. Takımyıldızların boyutları GNSS sistemine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Küresel kapsama sahip GNSS sistemleri arasında GPS (Global Positioning Services), GLONASS (Global Navigation Satellite System), Bei-Dou ve Galileo bulunmaktadır.

GNSS sistemleri 1.1GHz ile 1.6GHz arasındaki frekans bantlarında çalışır ve iletim kanallarına göre değişiklik gösterir. Aslında farklı takımyıldızlar aynı kanalda bir arada bulunabilir. OEM cihazlarının çalıştığı platforma bağlı olarak farklı LBS sunulmaktadır. Akıllı telefonlarda bazı konum servisleri, GNSS verilerine ek olarak Wi-Fi, Bluetooth ve hücresel ağlar gibi kısa ve uzun menzilli kablosuz ağları birleştirir. Günümüzde android ve iOS (iPhone Operating System) tabanlı cihazlar, NMEA (National Marine Electronics Association) 0183 standardını temel alan mesajları kullanmaktadır. Bu standarda yapılan en son güncellemeler arasında sözde menzil ve Doppler kaymasının ölçümü; ham GNSS ölçümlerinin işlenmesine basitlik ve sağlamlık katar. Bununla birlikte, GNSS alımı, çok yollu etkiler ve NLoS (Non-Line of Sight) koşulları nedeniyle kentsel kanyonlarda girişim, sinyal yayılımı ve ölçüm doğruluğu nedeniyle kesintilere uğrayabilir [8].

1.4.2. Manyetometre

Manyetometrenin işlevi, yönünü belirlemek için dünyanın manyetik alan gücünü okumaktır. MEMS (Micro-Electro Mechanic Systems) tabanlı manyetometreler, akıllı telefonlar gibi ticari cihazlara yerleştirilmiştir ve manyetik alanı μT duyarlılığıyla 3 eksen (x, y, z) bildirir. Üstelik minyatürleştirilmiş form faktörü ve düşük enerji tüketimi, birden fazla cihazda kullanılabilirliğini kolaylaştırır. Böylece navigasyon ve LBS hizmetlerinin sağlanmasında değerli bir bileşen olarak ortaya çıkar.

1.4.3. Mikrofon

Mikrofon ses dalgalarını elektrik enerjisine dönüştürür. Bu sensörler, MEMS cihazları veya OTS cihazlarına bağlanan yoğunlaştırılmış mikrofonlar olarak yerleştirilmiştir. Mikrofonlar, gerçek zamanlı sinyal işleme için uygun maliyetli bir çözümdür.

ISO 9613-2 standardına göre, kentsel senaryoda yüksek yoğunluklu sesler için algılama menzilleri 200 m'ye kadar ulaşmaktadır. Üstelik mikrofonlar düşük enerji tüketir, daha küçük boyutlara ve çok yönlü algılama özelliğine sahiptir. Bir dizi mikrofona sahip cihazlar, DoA (Direction of Arrival) tahmin etmek ve her mikrofon çifti arasındaki varış zaman farkını hesaplayarak ses kaynağının yerini belirlemek için kullanılır. Öte yandan verimlilikleri büyük ölçüde hassasiyetlerine, ses dalgalarının genliğine ve çevresel gürültüye bağlıdır.

1.4.4. Biyometrik Sensörler

Biyometrik sensörler, bireylerin benzersiz fizyolojik veya davranışsal özelliklerini ölçmek ve yakalamak için kullanılan cihazlardır. Fizyolojik biyometrik veri, parmak izleri, yüz özellikleri, iris desenleri, el geometrisi, damar desenleri, vücut kokusu ve retinal taramalar gibi özellikleri içerir. Davranışsal biyometrik veri ise bireyin yürüyüşü, imzası, el yazısı ve ses gibi davranışlarına dayanır.

Biyometrik sensörler, farklı teknolojiler kullanarak bu verileri elde eder. Örneğin, parmak izi tarayıcıları, yüz tanıma kameraları, iris tarayıcıları, el geometrisi sensörleri gibi cihazlar fizyolojik veri toplamak için kullanılırken, yürüyüş tanıma için kameralar, imza ve el yazısı yakalamak için cihazlar, ses tanıma için mikrofonlar gibi cihazlar ise davranışsal veri toplamak için kullanılır.

Elde edilen veriler, desen madenciliği teknikleri kullanılarak işlenir ve analiz edilir. Bu sayede bireyin benzersiz biyometrik özelliklerinin dijital bir temsili oluşturulur. Bu dijital temsil, kimlik doğrulama ve erişim kontrolü gibi uygulamalarda kullanılır [9].

2. RADAR

RADAR dedektörleri yansıyan EM (Elektromanyetik) dalgaları kullanır. Cihaz, aracın dışındaki nesnelerden yansıyan radyo dalgası darbeleri yayar. Bir süre sonra sensöre ulaşan yansıyan darbeler, farklı bilgilerin çıkarılmasına olanak sağlar. Radar verileri bir nokta bulutunda toplanır ve çevredeki nesneler hakkında yön, mesafe gibi soyut bilgiler sağlar ve nesne boyutunu tahmin eder. Hareketli hedeflerin bağlı hızı, Doppler kaymasının neden olduğu frekans değişiklikleri yoluyla hesaplanabilir. RADAR, EM dalgalarını modüle etmek için çeşitli teknikler uygular.

CW (Continuous Wave), nesne tespiti için periyodik darbe iletimlerini kullanır. Ancak darbe CW'si dalga enerjisine ve ortam gürültüsüne bağlıdır. Ayrıca iletilen dalgalarda zamanlama işaretleri bulunmadığı için hedefe olan mesafeyi tahmin etmek güvenilir değildir. Gürültüden kaynaklanan algılama sorunlarını iyileştirmek için frekans modülasyonlu sürekli dalga (FMCW) ile sürekli bir sinyal yayarak çalışma frekansının ölçüm sırasında değiştirilmesine olanak tanır. Böylece zaman senkronizasyonuna güvenmek yerine gönderilen ve alınan sinyaller arasındaki frekans farkları ölçülür. FMCW, hedefin menziline ve hızını tahmin etmek için hem menzili hem de Doppler bilgisini dikkate alır.

Otomotiv radarları aynı zamanda MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) gibi anten çeşitliliği tekniklerini de kullanır. MIMO radarlarında, her verici anten diğer antenlerden bağımsız olarak isteğe bağlı bir dalga biçimi yayabilir ve herhangi bir alıcı anten bu sinyali alabilir. Böylece, MRx (Multiple Receive) ve MTx (Multiple Transmit) elemanlarına sahip bir radar, $MRx \times MTx$ sanal anten dizisini üretir. Böylece FoVi (Field of View)'ler, hedef tespit yeteneklerine ek olarak açısız çözünürlüklerin (daha yüksek azimut ve sensör yüksekliği) gelişmesine olanak sağlar.

DCM (Digital Code Modulation) radarlar, her vericinin benzersiz kodlarla tanımlanmasına olanak tanır. Dijital radarlar, açısız çözünürlüğü iyileştirmenin yanı sıra kodlama yoluyla paraziti en aza indirmeyi, bulunan hedeflerin tanımlanmasını iyileştirmeyi, HCR (High Contrast Resolution) yoluyla yakınlıkları tespit etmeyi amaçlamaktadır.

Radar sensörleri hem aracın ön tarafında hem de köşelerde kısa ve uzun menzilli algılama için kullanılır. SRR (Short Range Radar) sistemleri, tekli veya çoklu hedeflere yönelik karmaşık pasif ve aktif güvenlikle uğraşmayı gerektiren, araca yakın ortamları izlemek için kullanılır. SRR, 24 GHz mm-dalga frekans bandında çalışır. Bu arada, LRR (Long Range Radar), öndeki araçlara olan mesafeyi izlemek ve ego-aracın hızını kontrol etmek için ACC (Adaptive Cruise Control) sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

LRR, 70, 77 ve 79 GHz mm-dalga frekans bandında çalışır. SSR'lerden farklı olarak, LRR'deki FoV daha uzun mesafelere ulaşır fakat azimut ve yükseklik açıları daha dardır. Radarlar olumsuz iklim koşullarında (sis veya yağmur) ve aydınlatmanın az olduğu veya hiç olmadığı durumlarda dayanıklıdır. Bununla birlikte, diğer sensör okumalarıyla birleştirilmezse, sınıflandırma sorunları için sinyal işleme daha zordur.

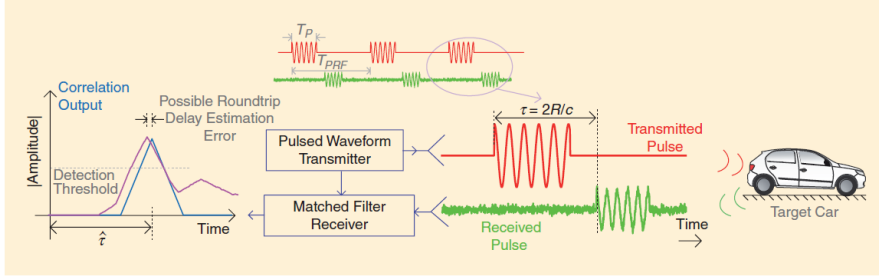
2.1. Temel Radar Operasyonları

Bir radar, 3 MHz'den 300 GHz'e kadar değişen frekans bantlarındaki EM dalgalarını eş zamanlı olarak iletebilir ve alabilir. Bu hedeflerden yansıyan EM dalgalarını kullanarak hedefler hakkında bilgi (konum, menzil, hız ve RCS (Radar Cross Section) çıkarmak için tasarlanmıştır. Otomotiv radar sistemleri tipik olarak, daha yüksek hız ve menzil çözünürlüğü elde edilebilmek için mm-dalga frekansları olarak bilinen EM spektrumunun 24 GHz ve 77 GHz kısımlarındaki bantlarda çalışır. Temel radar operasyonu üç ana görevi içerir: menzil (mesafe), bağlı hız ve yön tahmini.

2.1.1. Menzil Tahmini

Menzil tahmini otomotiv radarları için en temel uygulamadır. Kaynağın (R) bir hedefe olan aralığı, EM dalgalarının o hedefe doğru ve hedeften yayılması için gereken gidiş-dönüş zaman gecikmesine göre belirlenir: ($R = c\tau/2$), burada τ , saniye cinsinden gidiş-dönüş zaman gecikmesi ve c , ışığın saniyede metre cinsinden hızıdır ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$). Böylece τ 'in tahmini aralık ölçümünü mümkün kılar. Radarın ilettiği EM dalgaların (sinyallerin) şekli, gidiş-dönüş zaman gecikmesi tahmini için önemlidir. Örneğin, darbe modülasyonlu sürekli dalgalar (CW), periyodik ve kısa güç darbelerinden ve sessiz periyotlardan oluşur. Sessiz periyotlar, radarın yansıyan sinyalleri almasına izin verir ve Şekil 1'de

gösterildiği gibi radarın menzil tahminini gerçekleştirilmesi için zamanlama işaretleri olarak kullanılır.



Şekil 1. İlişki bazlı alıcıya sahip darbeli bir CW radarı, hedef arabanın R menzilini ölçebilir [2].

Modüle edilmemiş CW sinyalleri ($\cos(2\pi f_c t)$) zaman işaretlerine sahip olmaması sebebiyle menzil tahmini için kullanılamaz. Ek olarak hedeften yansıyan sinyalin bir sonraki darbe başlamadan önce gelmesi gerekir. Bu nedenle, bir radarın maksimum tespit edilebilir menzili TPRF (Pulse Repetition Frequency)'ye bağlıdır. Radardan iletilen sinyal, geri alınana kadar yol kaybı ve hedeften hatalı yansıma nedeniyle zayıflamaya uğrar. Ek olarak, alınan hedef sinyalleri, radar elektroniklerindeki dahili gürültüye ve ilgi konusu olmayan nesnelerden yansıyan sinyallerin bir sonucu olabilecek ve insan yapımı kaynaklardan gelebilen girişime maruz kalır. Tipik gidiş-dönüş zaman gecikmesi tahmini problemi, sadece toplam beyaz Gauss ortam gürültüsünü hesaba katar.

Demodülasyon sürecinde taşıyıcı sinyalin kaldırıldığı varsayılarak temel banttaki $x(t)$ hedef sinyalinin şu şekilde modellenebilir:

$$x(t) = \alpha s(t - \tau) + \omega(t). \quad (1)$$

Burada α , anten kazancına, yol kaybına ve hedefin RCS'ine bağlı zayıflamayı temsil eden karmaşık bir skalerdir ve $\omega(t)$ ise sıfır ortalamalı ve varyansı σ^2 olan toplamsal beyaz Gauss gürültüsüdür. Amaç, iletilen radar dalga formu $s(t)$ 'nin tam bilgisiyle τ 'i tahmin etmektir.

$s(t)$ birim genliğe ve sonlu enerji E_s 'ye sahip olduğunu varsayılırsa, ideal radar alıcısı, SNR (Signal-to-Noise Ratio) değerini $\left(SNR = \left(\frac{a^2 E_s}{\sigma^2} \right) = \left(\frac{a^2 T_p}{\sigma^2} \right) \right)$ maksimize eden eşleşmiş bir filtre kullanılarak bulunabilir. Bu filtre, sinyal tepki verme özelliğine sahip $h(t) =$

$s^*(-t)$ 'dir. Bu sayede eşleşmiş filtre tabanlı alıcı, iletilen sinyal ile hedeften yansıyan darbeler arasındaki korelasyonu bulur:

$$t(\tau) = \int x(t)s^*(t - \tau)dt. \quad (2)$$

Zaman gecikmesinin en olası tahmini, eşleşen filtre çıkışının büyüklüğünün zirveye ulaştığı zamandır:

$$\hat{\tau} = \arg \max_{\tau} |y(\tau)| \quad (3)$$

Gürültünün varlığı, zirvenin konumunu bozabilir ve bu da tahmin hatasına neden olabilir. Ayrıca, radarın alınan bir sinyalin aslında bir hedeften gelen bir yansıma sinyali içerip içermediğine karar vermesi gerekmektedir. RADAR literatürünün önemli bir kısmı, en uygun tespit performansını sağlayan stratejiler geliştirmek için kullanılmaktadır.

Tipik bir karar stratejisi, istatistiksel hipotez testlerine (bir hedefin mevcut olup olmadığına) dayalı olarak formüle edilebilir. Bu, eşleşen filtre çıkışında basit bir eşik testine yol açar. Bir diğer önemli performans ölçüsü olan menzil çözünürlüğü, yakın aralıklı hedefleri ayırt etme yeteneğini ifade eder.

Radar kapsama alanında iki hedef ancak zaman alanında örtüşmeyen getiriler üretiyorsa ayrılabilir. Dolayısıyla menzil çözünürlüğü darbe genişliği T_p ile orantılıdır. Başka bir deyişle, daha ince darbeler daha yüksek çözünürlük sağlar. Bununla birlikte, daha kısa darbeler daha az enerji içerir, bu da alıcı SNR ve algılama performansının zayıf olduğu anlamına gelir. Bu problem, faz veya frekans modüle edilmiş darbeleri kullanan darbe sıkıştırma adı verilen yöntemle aşılır.

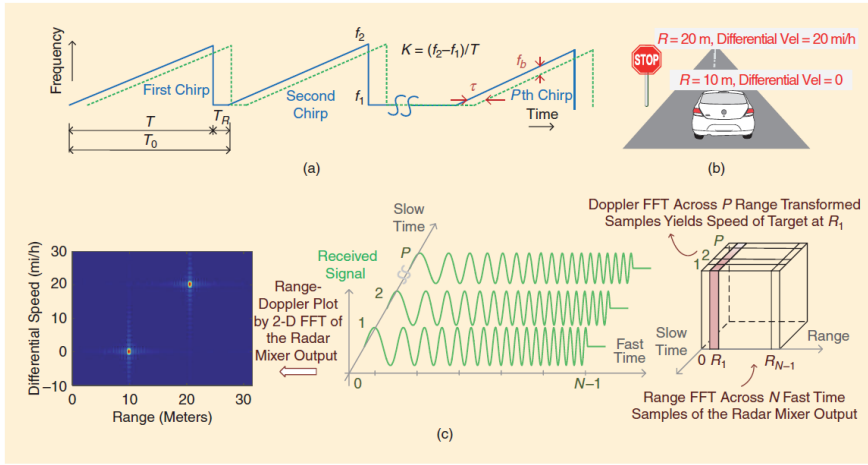
2.1.2. Hız Tahmini

Hedef hızın tahmini, Doppler etkisinde faydalanılarak yapılmaktadır. Şekil 2'de gösterilen aracın farklı bir hızla ilerlediği varsayıldığında, iki araç arasında göreceli hareketin varlığıyla, yansıyan dalgalar τ ile gecikir ($\tau = 2(R \pm vt)$). Zaman bağımlı gecikme terimi, Doppler kaymasına neden olur ve alınan dalga üzerinde frekans kaymasına yol açar. Doppler kayması $f_d = \left(\mp \frac{2v}{\lambda}\right)$ olarak bilinir. Doppler kayması dalga boyu λ ile ters orantılıdır ve işareti, hedefin radarın yaklaştığına veya uzaklaştığına bağlı olarak pozitif veya negatif olabilir. Bu frekans kayması sürekli dalga radarı kullanılarak tespit edilebilir, ancak hedefin menziline ölçme yeteneğine sahip değildir. Burada, çoklu hedef trafik senaryolarında aynı anda menzil-

hız tahmini sağlayan frekans modüleli (FM) CW darbeleri kullanan bir darbe radarı konfigürasyonu açıklanmaktadır.

FMCW radarı periyodik geniş bantlı FM darbeleri gönderir, darbe sırasında açılal frekans lineer olarak artmaktadır. Taşıyıcı frekans f_c ve modülasyon sabiti K için, tek bir FMCW darbesi şu şekilde yazılabilir (Şekil 2(a)'da fark frekansı açıklanmıştır).

$$s(t) = e^{j2\pi(f_c + 0.5Kt)t} \quad 0 \leq t \leq T \quad (4)$$



Şekil 2. (a) Bir FMCW dalga formunun spektrogramı, modülasyon sabiti $K = (B/T)$, sıfırlama süresi T_R ve darbe periyodu T_0 ; P ardışık chirp gönderimi ile. gidiş-dönüş gecikmesi τ , fark frekansı f_b 'ye dönüştürülür, (b) Tipik trafik senaryosu: sabit trafik işareti, radar ve yolcu aracı 20 mil/s hızla hareket eder, (c) 77GHz FMCW radar ile 2-D menzil-Doppler tahmini $\{[N,P] = [64,64]$, $\text{SNR} = 10$ dB, $\text{BW} = 300$ MHz, $T = 300$ ns $\}$ [2].

Hedeyten yansıyan sinyal, iletilen sinyalle eşlenik olarak karıştırılır ve hedefin menziline veren düşük frekanslı bir vuruş sinyali üretilir. Bu işlem P ardışık vuruş için tekrarlanır. Şekil 2(c)'deki iki boyutlu (2-D) dalga formları, ardışık yansıyan vuruşları iki zaman indisine yayılmış şekilde gösterir. Yavaş zaman indisi p basitçe vuruş numarasına karşılık gelir. Öte yandan, hızlı zaman indisi n , her vuruş için, karşılık gelen sürekli vuruş sinyalinin frekansı f_s ile örneklendiği ve zaman süresi T içinde N örneğin toplandığı varsayılır. Tek bir hedef varsayımıyla ve yansıyan sinyal

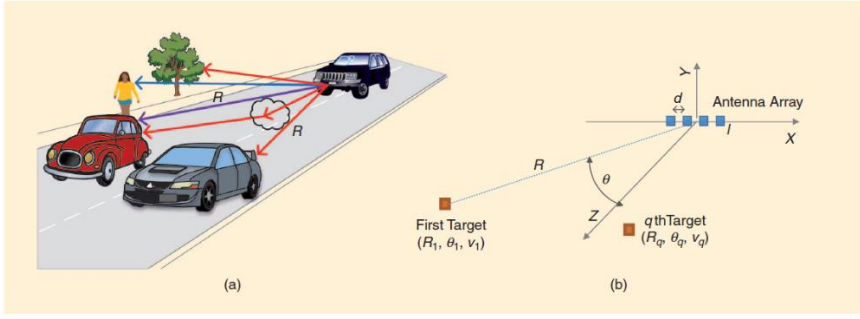
bozulmalarını ihmal ederek, FMCW radar alıcısı çıkışı, bu iki zaman indisinin bir fonksiyonu olarak verilir.

$$d(n, p) = \exp \left\{ j2\pi \left[\left(\frac{2KR}{c} + f_d \right) \left(\frac{n}{f_s} \right) + f_d p T_0 + \frac{2f_c R}{c} \right] \right\} + \omega(n, p) \quad (5)$$

Bu nedenle, Şekil 2(c)'de gösterildiği gibi, hızlı n süresi boyunca ayrık Fourier dönüşümü, Doppler frekansı f_d ile birleştirilmiş vuruş frekansı $f_b = (2KR/c)$ elde etmek için uygulanabilir. Bu işlem aynı zamanda menzil dönüşümü veya menzil geçitlemesi olarak da bilinir; bu, yavaş zaman boyunca ikinci Fourier dönüşümünün uygulanmasıyla benzersiz menzil kapısına karşılık gelen Doppler kaymasının tahmin edilmesine olanak tanır. Bir aralık-Doppler haritası, 2 boyutlu FFT (Fast Fourier Transform) (5) kullanılarak verimli bir şekilde bulunabilir. Yukarıda belirtilen tartışmaya dayanan açıklayıcı bir örnek Şekil 2'de gösterilmektedir.

2.1.3. Yön Tahmini

FMCW gibi geniş bantlı darbelerin kullanımı, hedeflerin hem mesafesinde hem de hızında ayırım yapılmasını sağlar. Yöndeki ayırım bir anten dizisi aracılığıyla yapılabilir. Şekil 3(a), radarı çevreleyen birkaç hedefin doğrudan ve çoklu yol yansımalarını topladığı gerçekçi bir trafik senaryosunu göstermektedir. Bu tür durumlarda, eşit uzaklıktaki hedefleri uzaysal olarak çözmek ve trafik sahnesinin kapsamlı bir temsilini sunmak için hedeflerin açısız konumu tahmin edilmelidir. Bu nedenle, otomotiv radarlarında, bir hedefin konumu genellikle bir küresel koordinat sistemi (R, θ, φ) terimleriyle tanımlanır, burada (θ, φ) sırasıyla azimut ve yükseklik açılarını gösterir. Ancak bu durumda, menzil-hız tahmini problemlerinde kullanılan tek antenli radar kurulumu yeterli olmayabilir, çünkü ölçülen zaman gecikmesi $\tau = (2(R \pm vt)/c)$, hedeflerin açısız konumları açısından bilgi eksikliği taşır.



Şekil 3. (a) Aynı R mesafesindeki iki araba dahil olmak üzere farklı hedeflerden gelen yansımaları içeren tipik bir trafik senaryosu, **(b)** Düzgün doğrusal anten dizisini kullanan azimut açısı tahmin kurulumu [2].

Radarın yön tahminini etkinleştirmek için yansıyan dalga verilerinin birden fazla farklı boyutta toplanması gerekir. Örneğin, bir hedefi iki boyutlu olarak ele almak için nesneden yansıyan dalga verilerinin iki farklı boyutta toplanması gerekir. Bu farklı boyutlar, zaman, frekans ve uzayın kombinasyonları kullanılarak birçok farklı şekilde oluşturulabilir. Örneğin, lineer bir anten dizisi ve FMCW gibi geniş bantlı dalga formları iki farklı boyut oluşturur. Ayrıca, mm-dalga bantlarında daha küçük dalga boyları, daha küçük açıklıklı boyutlara karşılık gelir ve bu sayede bir anten dizisine çok sayıda anten elemanı sıkı bir şekilde yerleştirilebilir. Bu durum, etkili radyasyon demetini güçlendirir ve keskinleştirir, bu da açısal ölçümlerin çözünürlüğünü artırır.

Düzlemde $z = 0$ konumlanmış bir anten dizisi var ve her alıcı anten konumuna karşılık gelen apsis l olsun [Şekil 3(b)]. (R_q, θ_q) , küresel koordinatlarda q . hedefin konumu olsun ve bu hedefler radara göre v_q hızıyla hareket etsin. Uzak alan yaklaşımı yardımıyla, q . hedef için, orijinde konumlanmış verici ve koordinat l 'ye yerleştirilmiş bir alıcı arasındaki gidiş-dönüş zaman gecikmesi şu şekilde verilir:

$$\tau_{lq} = \frac{2(R_q + v_q t) + l \sin \theta_q}{c} \quad (6)$$

Burada d doğrusal anten elemanları arasındaki mesafedir (yarım dalga boyu). (5) ve (6)'nın birleştirilmesi, mesafe, hız ve açının tahmin edilmesini sağlayan üç boyutlu FMCW radar çıkış sinyalinin verir. Q hedef sayısı için, sinyal şu şekilde temsil edilebilir:

$$d(l, n, p) = \sum_{q=0}^{Q-1} \alpha_q \exp \left\{ j2\pi \left[\left(\frac{2KR_q}{c} + f_{dq} \right) \left(\frac{n}{f_s} \right) + \frac{f_{cld} \sin \theta_q}{c} + f_{dq} p T_0 + \frac{2f_{cR_q}}{c} \right] \right\} + \omega(l, n, p) \quad (7)$$

Burada α ve ω , menzil tahmini probleminde açıklandığı gibi aynı miktarlara karşılık gelir. Gecikme terimi τ_{lq} , anten elemanları arasında düzgün faz ilerlemesi oluşturur, bu da denklem (7)'de gösterildiği gibi FFT ile uzaysal alanda açı tahminine izin verir. Bu nedenle, 2-D konum (menzil ve açı) ve hedeflerin hızı, 3-D FFT ile ortak olarak tahmin edilebilir [2].

3. LiDAR

LiDAR, radyo dalgaları yerine lazer yansımalarını kullanır. LiDAR sensörü, cisimleri tespit etmek için ışık darbeleri gönderir. Genellikle, 850 nm ile 940 nm arasındaki dalga boylarında çalışan LiDAR'lar, darbeleri ve AMCW (Amplitude-Modulated Continuous Wave) tekniklerine dayalı uçuş süresi (Time of Flight, ToF) kullanırlar.

Darbeleri sinyal ile ölçülen ToF, cisimlerden seken fotonların gönderilme ve alınma süresi arasındaki tur süresine dayalı olarak hedef mesafesini hesaplar. ToF ölçümünden farklı olarak, AMCW, gönderilen ışık demetinde bir yoğunluk deseni kodlar ve doğrusal bir radyo frekansı chirp oluşturur; hedef mesafe, seken sinyalin genliği ve gönderilen chirp'in faz kayması temel alınarak hesaplanır. Hem darbeleri sinyal ile ölçülen ToF hem de AMCW, gün ışığı girişimi ve görünür ışık spektrumuna yakınlıkları nedeniyle sınırlıdır.

Öte yandan, 1550nm dalga boyunda yayılan LiDAR'lar FMCW kullanır. AMCW tabanlı LiDAR'lardan farklı olarak, FMCW LiDAR'lar gönderilen lazer ışığını bir LO (Local Oscillator) içinde bir referans sinyale ve dışarıya doğru faz modüle edilmiş ve chirp edilmiş olarak böler. Hedeften yansıyan ışık, gönderilen ışıkla karıştırılır ve LO'daki referans sinyali ile karşılaştırılır. Gönderilen ve yansıyan ışık arasındaki frekans farkı, hedefin hareket halindeyken mesafe hesaplamasını, hızını ve mesafesini mümkün kılar. FMCW LiDAR'lar, nesne tespitinde daha yüksek menzil ve çözünürlüğe, parlak ortamlarda işletme menziline ve karanlık senaryolarda daha derinliğe ulaşır.

LiDAR, dairesel ve dikey bir şekilde tarar; yansıyan darbelerin yönü ve mesafesi nokta vektörü olarak kaydedilir, her veri noktası yansıtma değerini ve yerel koordinat sistemi ile ilgili 3D koordinatı içerir. Dahası,

bir dizi vektör daha sonra yüksek doğrulukla 3D model işleme imkânı sağlayan mekânsal temsili olan bir nokta bulutunu oluşturur.

LiDAR'ın boyut fonksiyonu açısından üç türü bulunmaktadır. 1D LiDAR'lar belirli bir hedefe veya yöne olan mesafeyi ölçer. Diğer yandan, 2D ve 3D LiDAR sensörleri elektromekanik veya MEMS tipi tarama yöntemlerini kullanarak daha iyi performans göstermektedir. 2D LiDAR sensörleri, ışınını x ve y düzleminde döndürür ve algılama örnekleri arasında eşit zaman aralıklarıyla ardışık olarak gerçekleşir. Diğer yandan, 3D LiDAR sensörleri, algılanan nesnelerin boyutsallığını genişletmek için x, y ve z düzlemlerini kullanarak çalışır. Hem dikey (V FoV) hem de yatay (H FoV) için genişletilmiş görüş alanı ile, eksenler boyunca konum ve mesafe hakkında bilgi sağlar [10].

3.1. LiDAR Tipleri

Literatürde çeşitli LiDAR türleri bulunmaktadır. Otomatik sürüş ve ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) uygulamaları için kullanılan LiDAR türlerinden bazıları şunlardır:

- Elektromekanik LiDAR
- Katı hal LiDAR

Bu kategorilerin her birinde hem 2D hem de 3D LiDAR'lar bulunmaktadır. Aşağıda farklı LiDAR teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları açıklanmaktadır.

3.1.1. Elektromekanik LiDAR

Elektromekanik LiDAR'lar, bir lazer ve alıcı montajını fiziksel olarak döndürerek veya bir döner aynayı kullanarak geniş bir alanda 360 dereceye kadar veri toplar. Elektromekanik LiDAR'lar, odaklanmış optikler aracılığıyla dönüş sinyalini dedektör üzerinde yoğunlaştıran güçlü, paralelleştirilmiş lazerler kullanır.

Elektromekanik LiDAR'lar, 2D veya 3D nokta bulutu döndürmek için tasarlanabilir. 2D LiDAR'da, yalnızca tek bir dönen lazer ışını veya tek bir eksen boyunca düzenlenmiş lazer ışınlarının lineer dizisi olabilir. Ortaya çıkan nokta bulutu, 360 derece kapsama alanına sahip olabilir, ancak yalnızca tek bir düzlemde engeller hakkında bilgi sağlayabilir. 2D LiDAR'lar genellikle düşük çözünürlüklü bir segment tabanlı tespit haritası sağlar. Bu, AV'nin (Autonomous Vehicles) hemen yakınındaki engelleri tespit etmek için kullanışlı hale getirir. Düzlemsel yüzeylerde basit tespit

ve mesafe ölçüm görevlerini yerine getirmek için uygundur. Fakat herhangi bir otonom sistem için detaylı nesne tespiti ve tüm yönlü algılama için uygun değildir.

3D elektromekanik LiDAR'da, verici-alıcı dizisi ya dikey lineer bir şekilde ya da dönme eksenini etrafında düzlemsel bir dizi olarak düzenlenebilir. Velodyne markasına ait VLS-128 model numaralı gibi yüksek çözünürlüklü LiDAR sensörleri, büyük sayıda verici-alıcı çiftini barındırmak ve tarama çözünürlüğünü artırmak için karmaşık bir lazer verici-alıcı desenine sahiptir.

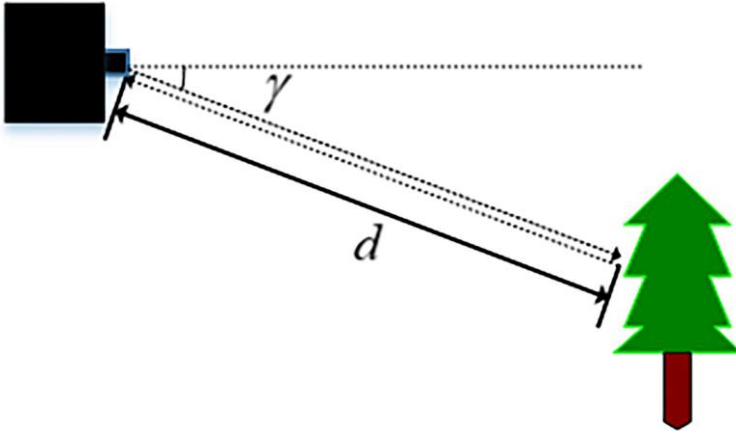
3.1.2. Katı Hal LiDAR

Katı hal LiDAR'lar, motorlu mekanik tarama olmadan tasarlanmıştır. Hareketli mekanik parçaları olmayıp, anlık sahne aydınlatması sağlayarak ve nesneler üzerinde artımlı değişim algılama kullanarak çalışmaktadır.

2D katı hal LiDAR'ların yalnızca bir dizi doğrusal yayıcı-alıcı çifti olabilir. MEMS teknolojilerindeki ilerlemeler ve gelişmiş üretim teknikleri ile katı hal 3D LiDAR'lar da geliştirilmektedir. Bunlar genellikle sensörün önündeki 3D bir alanı tarayabilmek ve nokta bulutunu oluşturabilmek için lazer flaşları gönderen yayıcı-alıcıların 2 boyutlu bir dizisine dayanmaktadır. Genel olarak, 3D LiDAR'lar, bir ortamın detaylı analizi için daha uygun olup bu nedenle otomatik araçlarda nesne tespiti ve çarpışma önleme gibi görevlere uygundur. Detaylı algılama görevlerinde kullanıldıkları için, 3D LiDAR'lar genellikle daha uzun algılama menzillerini hedefleyen yüksek lazer yayıcı gücü ve dedektör amplifikasyonu kullanılarak tasarlanmıştır [10].

3.2. LiDAR'ın Menzil Mekanizması

Bilindiği üzere LiDAR, otomasyonun her kademesinde çevreyi algılamak için gerekli olan teknolojidir ve sabit olmayan nesneleri gerçek zamanlı olarak işleyebilir. LiDAR kendi ışık kaynağı gibi davrandığı için ışıktan etkilenmeden çevresini de algılayabilir. Kullanılan cihaz, dünyayı gerçek zamanlı olarak 360° 3D olarak görüntülemek için dönen LiDAR ile donatılmıştır. Bu kameraların görüş alanı insan gözünden bile daha etkili bir sistemdir. LiDAR sensörünün nasıl çalıştığını göstermek için tek bir lazer noktası vurgulanmaktadır. Şekil 4'te gösterildiği gibi, sensörden tek bir lazer noktası yayılır, bir engelle çarpıp ve sensöre geri döner. Yansıyan veriler kaydedilir. Algılama mesafesini hesaplamak için uçuş süresi kullanılır.



Şekil 4. Tek hatlı LiDAR aralığının prensibi [11].

Şekil 4'te gösterildiği gibi, lazer emisyonu ve geri kazanımı arasındaki gecikme Δt olarak ayarlanır, ardından havadaki sensör ile engel arasındaki mesafe:

$$d = \frac{1}{2} c \times \Delta t \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir. Burada c ışık hızını ifade etmektedir. Kesin emisyon açısı γ bilindiğinden, konumlandırmanın nokta koordinatı:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d \times \cos \gamma \\ d \times \sin \gamma \end{bmatrix} \quad (9)$$

şeklinde yazılabilir. Burada γ LiDAR'ın emisyon açısıdır, d ise ölçüm mesafesidir. Hesaplama sonucu elde edilen tarama noktalarının koordinat değerleri kutupsal koordinatlar halinde kaydedilir.

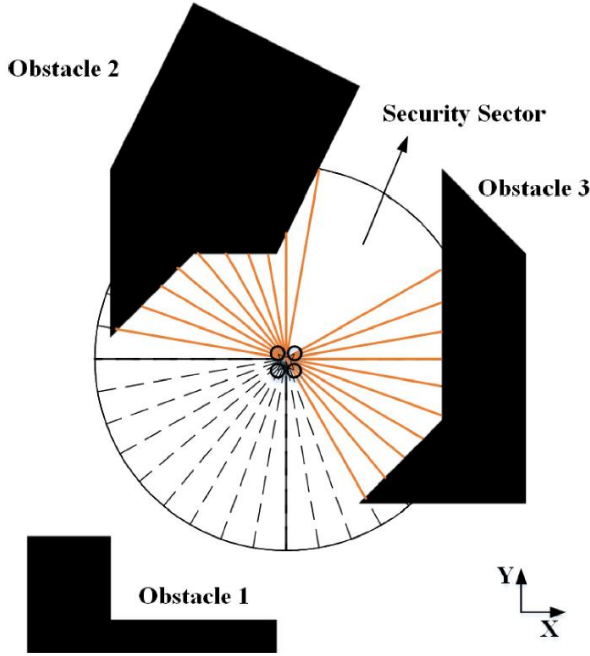
LiDAR yardımıyla uçuş yapan bir cihaz için olasılıksal bir yön tahmini mekanizması bölüm 3.3'te anlatılmaktadır. Burada cihaz için yön tahmin sürecinde vektör histogram algoritması kullanılmıştır.

3.3. VFH Algoritmasının Prensibi

Vektör histogram algoritması, havadaki sensör aracılığıyla bilinmeyen engeller ile kaynak arasındaki mesafe verilerini ölçer, verileri gerçek zamanlı olarak günceller ve kaynak için çarpışmasız bir yerel yol oluşturur. Yöntem esas olarak iki aşamada tamamlanır. İlk aşamada, havadaki sensör

tarafından toplanan engel verileri, kaynağın anlık konumu etrafında oluşturulan tek boyutlu bir kutupsal koordinat çubuk grafiğine dönüştürülür. İkinci aşamada algoritma, kutupsal çubuk grafiğinden engel yoğunluğunun düşük olduğu sektörü seçer ve daha sonra cihazın hareket yönünü bu güvenli sektörün yönüne göre hizalayarak hareket yönünü belirler.

Şekil 5'te, havadaki LiDAR'ın menzil diyagramı gösterilmektedir. LiDAR tarafından toplanan engel mesafesi bilgisi kutupsal koordinatlar biçiminde kaydedilir ve ardından VFH algoritması, verileri bir histogram ızgara grafiğine dönüştürür.



Şekil 5. Havadaki LiDAR menzil sensörü. Çok yönlü engel algılaması sağlayacak şekilde donatılmış 36 menzil sensörünün her biri 10 derecelik bir sensör görünümüne sahiptir. Siyah çokgenler engelleri temsil eder [11].

Cihazın hareket yönünü tanımlamak için tek boyutlu bir kutupsal koordinat histogramı kullanılmaktadır. Aktif hücre, DCP (Drone Center Point) olarak tanımlanmaktadır. Aktif hücre ve cihaz birlikte hareket eder ve her hareket eden adım yeni bir alanı kaplar. Histogram ızgarasındaki her aktif hücrenin (i,j) içeriği, yönü DCP tarafından belirlenen bir engel vektörü olarak ele alınacaktır. Daha sonra $\beta_{i,j}$ 'nin formülasyonu:

$$\beta_{i,j} = \tan^{-1} \left(\frac{y_i - y_0}{x_i - x_0} \right) \quad (10)$$

şeklinde yazılır ve $m_{i,j}$ büyüklüğü:

$$m_{i,j} = (c_{i,j}^*)^2 (a - b d_{i,j}) \quad (11)$$

olarak tanımlanır. Burada a ve b pozitif sabitlerdir, $\beta_{i,j}$ aktif hücre (i,j) 'den DCP'ye olan yöndür, (x_0, y_0) DCP'nin mevcut koordinatlarıdır, (x_i, y_i) aktif hücrenin koordinatlarıdır (i,j) , $c_{i,j}^*$ aktif hücrenin (i,j) kesinlik değeridir, buradaki kare sensör tespitinin tek bir oluşumundan kaynaklanan gürültüyü azaltmayı ifade eder. $D_{i,j}$ ise aktif hücre (i,j) ile DCP arasındaki mesafedir. k , engelin hareket eden birimine karşılık gelen sektördür ve her bir sektör k 'ya karşılık gelen ayrı açı, havadaki sensörün açısız çözünürlüğünün α katıdır:

$$k = INT \left(\frac{\beta_{i,j}}{\alpha} \right) \quad (12)$$

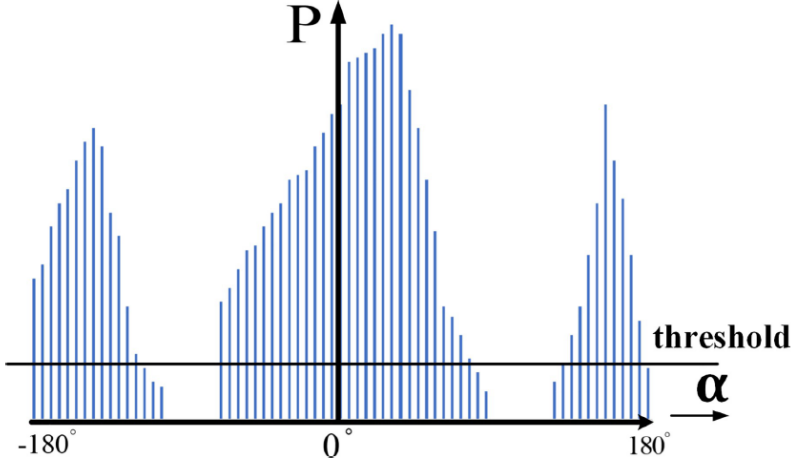
h_k sektör yönünde bir engelle karşılaşma olasılığını temsil eden kutupsal engel yoğunluğudur ve şu şekilde ifade edilebilir:

$$h_k = \sum_{i,j} m_{i,j} \quad (13)$$

Polar bariyer yoğunluğunun dağılımı ayrık olduğundan, bu da eşit olmayan engel tahminine yol açabilir. Bu nedenle düzgün kutupsal engel yoğunluğu h'_k aşağıdaki fonksiyonun uygulanmasıyla elde edilir:

$$h'_k = \frac{h_{k-1} + 2h_{k-l+1} + \dots + lh_k + \dots + 2h_{k-l+1} + h_{k+1}}{2l+1} \quad (14)$$

Burada n sektör sayısı, l deney veya simülasyonla seçilen sabit bir tamsayıdır. Algoritma ile veri işlendikten sonra, Şekil 6'da gösterildiği gibi çevresel engellerin kutupsal histogramı elde edilebilir.



Şekil 6. Polar histogram. X eksenini cihaz tarafından algılanan engelin açısıdır. Y eksenini o yönde bir engelin olasılığını temsil eder [11].

Polar histogramın tüm sektörü, η_1 eşik değeri ile güvensiz ve güvenli vadilere bölünmüştür. Cihazın optimal yönünü belirlemek için güvenlik vadisi η_2 eşik değeri ile dar vadi ve geniş vadi olarak ikiye ayrılmıştır. VFH algoritmasında benimsenen maliyet fonksiyonu şu şekilde gösterilmektedir:

$$g(c) = \mu_1 \cdot \Delta(c, k_t) + \mu_2 \cdot \Delta\left(c, \frac{\theta_i}{\alpha}\right) + \mu_3 \cdot \Delta(c, k_{n,i-1}) \quad (15)$$

Burada, $\Delta(c_1, c_2)$, c_1 ve c_2 sektörleri arasındaki mutlak açı farkını hesaplayan bir fonksiyondur. $\Delta(c, k_t)$, hedef yönü ifade eder, $\Delta\left(c, \frac{\theta_i}{\alpha}\right)$ mevcut hareket yönünü ifade eder ve $\Delta(c, k_{n,i-1})$ önceden seçilen hareket yönünü belirtir.

Maliyet fonksiyonunda ilk terim olası yön ile hedef yön arasındaki farkı temsil eder. Fark ne kadar büyük olursa, olası yönün cihazı hedef yönden uzağa yönlendirmesi o kadar fazla olur. İkinci terim, olası yön ile robotun mevcut yönü arasındaki farkı temsil eder. Fark ne kadar büyük olursa, hareketin yönünü de o kadar fazla değiştirilmesi gerekir. Üçüncü terim, olası yönden ve önceden seçilen hareket yönünden farkı temsil eder. Değer ne kadar büyük olursa, yeni dönüş komutundaki değişiklik de o kadar büyük olur.

μ_1 robotun davranışı hedef odaklı olduğu oranda yüksek olur. Robot μ_2 'nin yüksek olduğu oranda, verimli bir yol izlemeye ve hareket yönünde

minimum değişiklik yapmaya çalışır. Robot μ_3 'ün yüksek olduğu oranda önceden belirlenmiş yöne gitmeye çalışır ve izlenen yol daha düzgün olur.

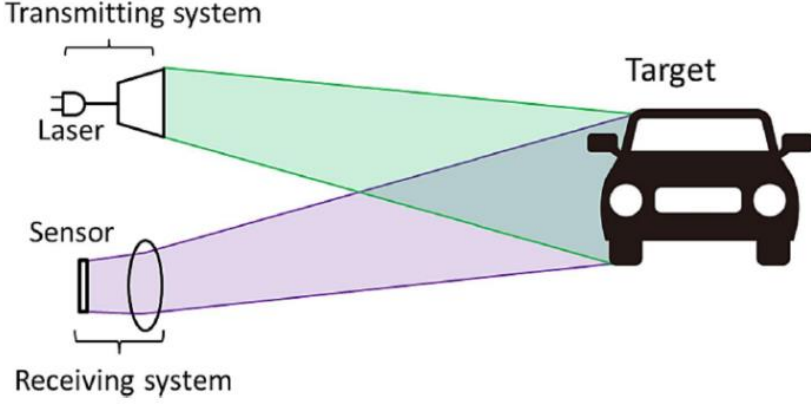
Maliyet fonksiyonunun ikinci ve üçüncü terimleri, robotun hareket yörüngesinin düzgünlüğünü belirlemek için kullanılır. Cihaz engellerinden kaçınmanın hedefe yönelik olduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla maliyet fonksiyonunun ağırlık ayarının $\mu_1 > \mu_2 + \mu_3$ gereksinimini karşılaması gerekir.

Uygulamada polar histogram öncelikle cihazın geçmesine izin verecek kadar büyük olan tüm boşlukları belirlemek için kullanılır. Daha sonra tüm bu boşluklar için maliyet fonksiyonu hesaplanır ve son olarak en düşük maliyet fonksiyonuna sahip yol geçilecek şekilde seçilir. Maliyet fonksiyonu üç faktörden etkilenir: hedef yön, cihazın mevcut yönü ve önceden seçilen yön. Ortaya çıkan maliyet, bu üç faktörün ağırlıklı değeridir. Farklı ağırlıkları ayarlayarak cihaz tercihi ayarlanabilir [11].

3.3. LiDAR Görüş Alanı

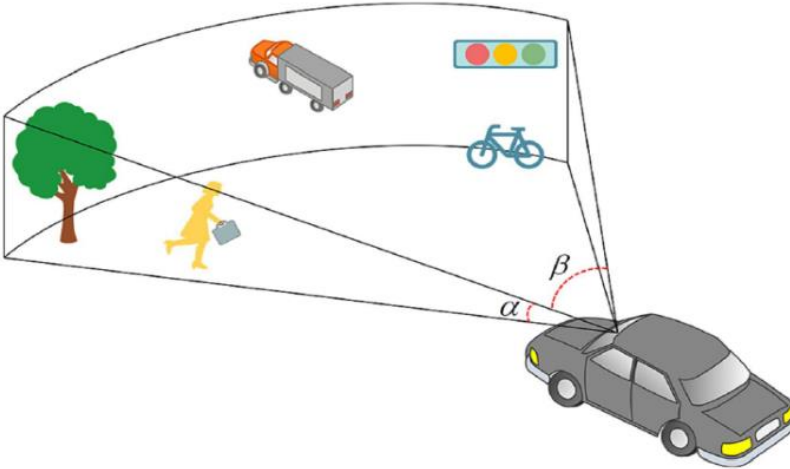
Görüntüleme LiDAR'ı, araç ortam algılama sistemlerinde kullanım için önemli bir sensördür ve FOV (Field of View) ve IFOV (Instantaneous Field of View), sırasıyla sistemin uzaysal kapsamını ve uzaysal algılama çözünürlüğünü belirler. Daha küçük bir IFOV, LiDAR'ın daha büyük bir mesafeden bir hedefi tanıyabildiğini gösterir. Geleneksel dizi tipi LiDAR sistemlerinin FOV'si ve IFOV'si dedektör tarafından sınırlandırılır ve aynı uzaysal kapsama alanını korurken hedef tanıma mesafesini artıramaz.

LiDAR'ın çalışma prensibi Şekil 7'de gösterilmiştir. Verici sistemi, lazer ışınını aktif olarak gönderir ve alıcı sistem daha sonra hedeften dağınık olarak yansıyan ışınları alarak hedefin mesafe ve azimut bilgisini elde eder. Aracın sürüş durumunun akıllı kontrolünü sağlamak için araca monteli LiDAR'ın aracın önündeki üç boyutlu ortamı algılayabilmesi gerekmektedir.



Şekil 7. LiDAR'ın çalışma prensibi. Verici sistem, lazer ışını aktif olarak iletir ve alıcı sistem daha sonra hedeften dağınık olarak yansıyan ışınları alır, böylece hedefin mesafesini ve azimutunu elde eder [12].

Şekil 8'de gösterildiği gibi, LiDAR sistemi dikdörtgen bir algılama FOV'sine sahiptir ve dikey ve yatay FOV açıları sırasıyla α ve β 'dir. LiDAR'ın dikdörtgen FOV tespitini gerçekleştirebilmesinin üç yolu vardır: iki boyutta noktadan noktaya tarama gerçekleştirerek, tek boyutta doğrusal dizi taraması veya 3D flaş tespiti. Örnek olarak tek boyutta doğrusal dizi taraması sunan LiDAR sistemini ele alınırsa; burada α açısı, doğrusal dizi dedektörüne karşılık gelen dikey FOV açısıdır ve FOV açısı β , yatay yönde tarama ile gerçekleştirilir.



Şekil 8. Araca monteli LiDAR'ın algılama FOV'u [12].

Geleneksel tek boyutlu tarama LiDAR'ında, hedefin doğrusal dizi dedektörü üzerindeki görüntü yüksekliği H ile dikey FOV ω arasındaki ilişki şu şekilde verilir:

$$H = f \cdot \tan \omega \quad (16)$$

burada f , LiDAR alıcı sistemin odak uzaklığıdır. Geleneksel LiDAR için IFOV:

$$IFOV(\omega) = \frac{d_{pixel}}{f \sec^2 \omega} \quad (17)$$

burada d_{pixel} doğrusal dizi dedektöründeki tek bir pikselin boyutudur. LiDAR sisteminin IFOV'u tam FOV boyunca yaklaşık olarak eşittir.

LiDAR'ın aracın merkez yüksekliğine yerleştirildiğini varsayarsak, uzun mesafelerde bir hedef tespit edildiğinde hedef daha küçük bir FOV açısı kaplayacak ve LiDAR'ın FOV'unun merkezinde yer alacaktır. Merkezi FOV'un IFOV'unu azaltmak, hedefin uzaysal çözünürlüğünü iyileştirebilir. Alan odak uzaklığı FFL (The Field Focal Length), optik sistemin IFOV'unu kontrol etmek için kullanılabilir ve aşağıdaki şekilde tanımlanır

$$FFL(\omega) = \frac{\Delta H}{\Delta \omega} \quad (18)$$

Burada $\Delta \omega$, FOV açısındaki hafif değişiktir ve ΔH , FOV açısındaki hafif değişikliğin neden olduğu görüntü yüksekliğindeki değişiktir. Bu durumda LiDAR sisteminin IFOV'u şöyledir:

$$IFOV(\omega) = \frac{d_{pixel}}{FFL(\omega)} \quad (19)$$

Dedektör özellikleri göz önüne alındığında, mevcut $FFL(\omega)$, optik sistemin IFOV'unu belirler. Bu nedenle, LiDAR IFOV'un eşit olmayan dağılımı, uygun $FFL(\omega)$ 'nin kurulması ve ardından karşılık gelen alıcı sistemin tasarlanmasıyla gerçekleştirilebilir [12].

4. Ultrasonik Sensörler

Ultrasonik, bir vericinin ses dalgaları gönderdiği ve bir alıcının yakındaki nesnelerden yansıyan dalgaları yakaladığı akustik dalgaları ifade eder. Bu tür bir nesnenin mesafesi uçuş süresi (ToF) aracılığıyla belirlenir. Bu dalgalar, ses hızında (yayıma ortamının yoğunluğuna bağlı olarak) konik bir şekilde yayılır ve insan kulağının duyabileceğinden daha yüksek, 20-180 kHz arasındaki frekansları kullanır. Ultrasonik sensör, park

yardımlı, kör nokta tespiti ve yanal hareket gibi düşük hızlı, kısa mesafeli uygulamalar için uygundur. Düşük güç tüketimi (6W'a kadar) ile nispeten uygun fiyatlı bir nesne algılama sensörüdür.

Ultrasonik sensörler endüstriyel uygulamalardaki birçok algılama görevi için uygundur. Katı, sıvı, taneli veya toz halindeki nesneleri tespit etme yeteneğine sahiptirler. Ultrasonik sensörler, otomotiv uygulamaları için 40-70 kHz aralığındaki ses dalgalarını iletmek için sonik dönüştürücülerini kullanır. Bu frekans aralığı insanların duyabileceği aralığın ötesinde olduğundan insan kulağı için güvenlidir. Bir arabanın park sisteminin, net bir sinyal alımı sağlamak için, bir jet motorundan gelen duyulabilir ses basıncına eşdeğer olan 100 dB'den fazla ses basıncı üretebildiği göz önüne alındığında, bu önemli bir faktördür.

Çoğu ultrasonik sensör, iletim ve alım arasındaki ses dalgalarının ToF'sinin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Ölçülen bu ToF daha sonra Denklem (20)'de gösterildiği gibi ölçüm aralığı içindeki bir nesneye veya bir reflektöre olan mesafeyi (d) hesaplamak için kullanılır

$$d = \text{Sonik Dalga Hızı} \times \frac{ToF}{2} \quad (20)$$

Ses dalgaları havada 340 m/s hızla hareket eder ve hava sıcaklığının, basıncın ve nemin bir fonksiyonudur (her santigrat derece için sesin hızı 0,6 m/s artar). Bir ses dalgasının 1 m'ye ulaşması için gereken süre yaklaşık 3×10^{-3} s iken, ışık ve radyo dalgaları için bu süre 3×10^{-9} 'dir. Bu çeşitli büyüklük farklılıkları, ultrasonik sistemlerde düşük hızlı sinyal işlemenin kullanılmasına izin verir. Bununla birlikte, basınca dayalı atmosferik koşullar, ultrasonik sensörlerin genel performansını zayıflatır. Bu sebeple SRR ve diğer teknolojiler ultrasonik sensörlere oranla daha fazla tercih edilir [13].

Ultrasonik sensörler farklı ölçüm teknikleri kullanır. Bunlardan piezoelektrik etki, frekans ve mesafe ölçümü kullanılarak yapılan ölçümler aşağıda açıklanmıştır.

Piezoelektrik Etki: Bir malzemenin mekanik stres altında elektriksel yük üretmesi veya tam tersi olarak elektriksel yük uygulandığında mekanik bir deformasyon oluşturmaktır. Bu etkiyi kullanarak, otomobillerdeki ultrasonik sensörler genellikle piezoelektrik kristalleri kullanır. Örneğin, bir piezoelektrik kristalin elektrotlarına voltaj uygulandığında, kristalde mekanik bir deformasyon meydana gelir ve bu da akustik dalgaların oluşmasına neden olur. Tersine, kristale gelen bir akustik dalga, kristalin

salınımına neden olur ve bu da elektrotlarda alternatif bir voltaj üretir. Ancak, piezo dönüştürücülerin kararlı mekanik titreşimler yayması zaman alır ve bu gecikmeye başlatma süresi adı verilir.

Frekans: Ultrasonik sensörler genellikle 40 ila 50 kHz arasındaki bir frekans bandında çalışır çünkü bu frekans aralığının, hassasiyet ve menzil açısından en iyi dengeyi sağladığı ve aynı zamanda ortam seslerine karşı dayanıklılık gösterdiği kanıtlanmıştır. 50 kHz'den daha yüksek frekanslar, hava ortamındaki seslerin zayıflaması nedeniyle daha zayıf yankılara neden olurken, 40 kHz'den daha düşük frekanslar için girişim yapan sesin oranı daha fazladır. Ayrıca, ultrasonik sensörler hoparlörlerin aksine kendi rezonans frekanslarında çalışmaya eğilimlidir ve geniş bant sinyallerini verimli bir şekilde iletemezler. Bu nedenle, belirli bir frekans bandında çalışarak, ultrasonik sensörlerin performansını optimize etmek mümkün olur.

Mesafe Ölçümü: Ultrasonik sensörler, bir elektronik kontrol ünitesinden (ECU) aldıkları komutla birlikte devreyi çalıştırır ve dönüştürücüyü rezonans frekansında periyodik dalgalarla 300 µs boyunca uyarır. Bu uyarı, membranın titreşimine ve ultrasonik ping'lerin yayılmasına neden olur. Ancak, dönüştürücü iletim sırasında dinleme yapamaz. İletim durduktan sonra bile, sensör yankıları hemen alamaz çünkü zilin kapanma süresi yaklaşık 700 µs'dir. Bu nedenle, ultrasonik sensörler yakın çevredeki nesneleri tespit edemez. Dinlenme durumuna geçtikten sonra, zar yankıları algılar ve analog sinyallere dönüştürür. Daha sonra bu sinyaller güçlendirilir, filtrelenir ve sayısallaştırılır. Yankıların geliş zamanlarını belirlemek için bir eşikle karşılaştırılır. Bu işlem sonunda, yankılar tarafından tekrar titreştirilen zar, bir nesnenin mesafesini ölçmek için kullanılabilir [14].

4.1. Ultrasonik Sensör Ölçme Şekli

Bir taşıt gövdesinin bir noktasının yerden uzaklığı şu şekilde hesaplanır:

$$D = k \cdot T_f \cdot V_s . \quad (21)$$

Burada T_f ultrasonik darbenin uçuş süresini, k sensör geometrisine bağlı olarak değişen yaklaşık değeri 0,5 olan sabit ve V_s sesin havadaki hızını temsil eder.

Ultrasonik darbe bir piezoelektrik dönüştürücü kullanılarak üretilir ve yerden yansıyan yankı başka bir piezoelektrik dönüştürücü tarafından

alınır. İki dönüştürücü, ölçüm kafasını oluşturmak için birbirine yakın monte edilir. Sabitten kaynaklanan belirsizlik katkısı, ölçüm başlığı monte edildikten sonra sensör kalibrasyonu yoluyla ihmal edilebilir hale getirilebilir. Ölçülen büyüklükler T_f ve V_s ilişkisiz kabul edilebildiğinden, ölçülen mesafenin standart belirsizliği $u(D)$ denklem (20)'den elde edilebilir.

$$u(D) = \sqrt{(kT_f)^2 u^2(V_s) + (kV_s)^2 u^2(T_f)} \quad (22)$$

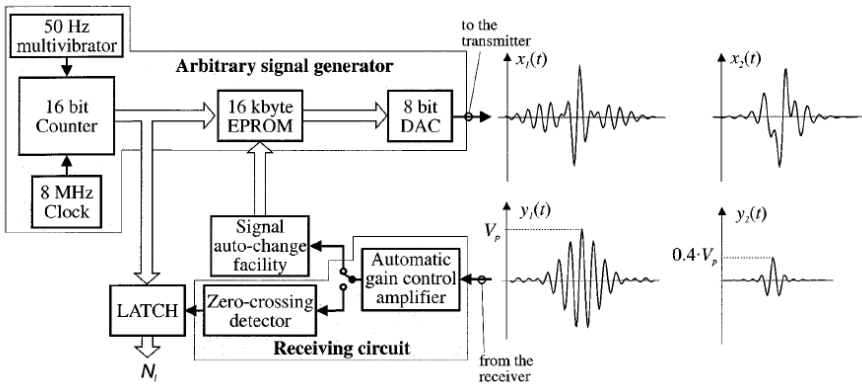
Burada $u(V_s)$ ve $u(T_f)$ ses hızı ve uçuş süresine ilişkin standart belirsizliklerdir. Sesin hızı ortam sıcaklığına (θ) göre ve sıcaklığa oranla daha az etkili olan hava nemi (h) sebebiyle değişim gösterebilir.

$$V_s = f(\theta, h) \quad (23)$$

Böylece (20), aşağıdaki şekle kavuşur.

$$u(D) = \sqrt{(k \cdot T_f) \cdot \left[\left(\frac{df}{d\theta} \right)^2 \cdot u^2(\theta) + \left(\frac{df}{dh} \right)^2 \cdot u^2(h) \right] + (k \cdot V_s)^2 \cdot u^2(T_f)} \quad (24)$$

Nem, %10 RH (Relative Humidity) ile %90 RH aralığında düzgün bir şekilde dağılmış rastgele bir değişken olarak kabul edilirse, bunun ses hızı üzerindeki etkisi 20 °C'de yaklaşık %0,15'tir. Bu, bir ortam için yaklaşık 0,3 mm'lik standart belirsizlik katkısına yol açar. Mesafe aralığı 0,3 m olduğundan nem sensörüne gerek yoktur.



Şekil 9. Ultrasonik sensör düzenlemesi ve uyarıcı sinyallere ve beklenen yankılara ilişkin iki örnek [15].

Şekil 9'daki daha güçlü eko $y_1(t)$ (tepe genliği V_p), vericinin $x_1(t)$ sinyaliyle uyarılmasıyla elde edilir. Düşük gürültü koşullarına uygun olan daha dar ve daha zayıf eko $y_2(t)$ (zirve genliği 0.4V), $x_2(t)$ uyarı sinyali kullanılarak elde edilir. Sesin havadaki hızı, $V_s = 20.055\sqrt{T}$ 'ye göre sıcaklığa bağlıdır. Burada T kelvin cinsinden sıcaklığı ifade eder. Bu nedenle 0-40 °C aralığındaki sıcaklık değişimlerinde ses hızının 330-360 m/s aralığında değişmesi beklenmelidir. Mesafenin belirlenmesinde bu tür bir etkinin dikkate alınması gerekir. Dolayısıyla bir sıcaklık sensörü gereklidir.

Ölçülen mesafenin belirsizliğini etkileyen bir başka olgu, ultrasonik darbenin yoluna dik olarak akan rüzgâr bileşeniyle aynı etkiye sahip olan araç hızıdır. Bu etki, darbe yolunun ve dolayısıyla ölçülen mesafenin arttırılmasından oluşur. Maksimum araba hızı V_w , ses hızının %10'u düzeyinde olduğundan, araba hızından kaynaklanan mesafe hatası yaklaşık olarak:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V_w}{V_s} \right)^2 \quad (25)$$

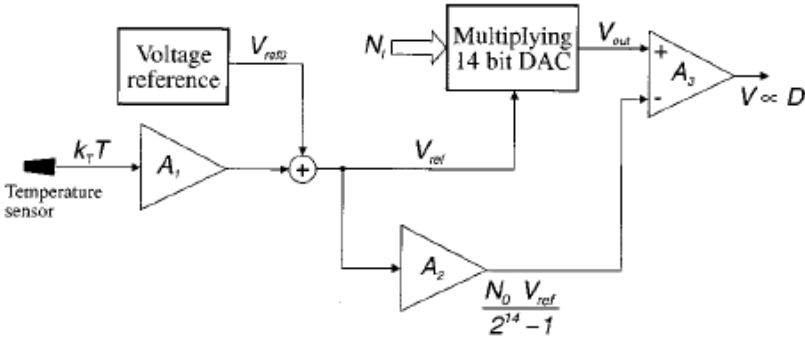
denklemleriyle hesaplanır. 33 m/s'lik (yaklaşık 120 km/saat) bir araba hızı için, 0 °C'deki ($V_s=330$ m/s) mesafe hatası yaklaşık %0,5'tir. Bu hatanın arabanın hızının bilinmesiyle kolayca düzeltilebileceğini unutmamak gerekir. 0,1-0,3 m aralığındaki mesafe ölçümü, uçuş süresinin 0.5–2 ms aralığında ölçülmesini gerektirir. Gerekli olan 1 mm'lik mesafe standart belirsizliği, uçuş süresinin 2,5 µs standart belirsizlikle, sıcaklığın 1 °C standart belirsizlikle ölçülmesiyle ve nem sensörünün kullanılmasından kaçınılarak elde edilebilir.

Darbe oluşturmak için 30 kHz- 5 MHz aralığında frekanslara sahip ultrasonik sinyaller kullanılabilir. Daha düşük dalga boyları ve dolayısıyla potansiyel olarak daha iyi bir çözünürlük anlamına geldikleri için daha yüksek frekanslar tercih edilebilir, ancak frekans arttıkça havadaki ses zayıflaması önemli ölçüde artar. Ayrıca, daha yüksek frekanslar hem pahalı dönüştürücülere ve hızlı elektronik cihazlara ihtiyaç duymaktadır, dolayısıyla düşük maliyetli bir düzenlemenin elde edilememektedir. Daha düşük frekanslar, düşük saçılma sorunları avantajına sahiptir ve düşük maliyetli dönüştürücülerle elde edilebilir, ancak havadaki dalga boyu birkaç milimetredir, dolayısıyla dalga boyundan daha düşük ölçüm belirsizlikleri elde etmek için özel dikkat gerektirir.

Oldukça iyi sonuçlarla dalga boyu altı belirsizlikleri elde etmek için çeşitli yaklaşımlar araştırılmıştır, ancak önerilen çözümler genellikle elde edilen verilerin bir tür dijital işlenmesinin kullanılmasını gerektirir, dolayısıyla sensör maliyetini artırır [15].

4.2. Uçuş Süresi Ölçümü

Sensör, ultrasonik darbeyi üretmek için yaygın 40 kHz piezoelektrik rezonans dönüştürücüleri kullanır. Hırsızlık önleme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bu tür dönüştürücüler, düşük maliyetli olarak kolaylıkla temin edilebilir. Üretilen sinyalin periyodu 25 mikrosaniyedir ve 20 °C 'de yaklaşık 9 mm'lik bir dalga boyuna karşılık gelir. Sinyal üretici (Şekil 10), üretilecek sinyallere karşılık gelen örnekleri içeren 16 kbyte'lık bir EPROM, EPROM'u taramak için kullanılan 16 bitlik bir sayaç ve 8 bitlik DAC'tan (digital-to-analog converter) oluşur.



Şekil 10. Sıcaklık dengeleme devresi [15].

Sıfır geçiş dedektörü iki eşik dedektöründen oluşur. Eşiği alınan sinyal zirvesinin bir kısmı olan bir birinci dedektör, alınan sinyali referans zemine göre karşılaştıran ikinci bir dedektörü mümkün kılar. Bu, sinyal bölgesinde maksimum eğimde algılamının elde edilmesine olanak tanır, böylece gürültü etkileri en aza indirilir. EPROM'da saklanan uyarın sinyalleri, birinci eşik dedektörünün yankının farklı periyotlarında ateşlemesini önleyecek kadar dar yankılar elde etmek için özel olarak tasarlanmıştır. Bu tür özel sinyaller, yankı zirvesini sabit bir değere ulaşacak şekilde sınırlandırırken yankı enerjisinin en aza indirilmesine dayanan kısıtlı bir optimizasyon prosedürü aracılığıyla tasarlanır. Sabit genliğin en dar yankısını $Y_p(f)$ almaya izin veren optimum sürüş sinyali $X_{opt}(f)$, aşağıdaki denklemlerin çözülmesiyle elde edilir.

$$X_{opt}(f) = \frac{1}{2} \lambda_1 \cdot \frac{H^*(f)}{|H(f)|^2 + \lambda_2} \quad (26)$$

$$Y_p(f) = \frac{1}{2} \lambda_1 \cdot \frac{|H(f)|^2}{|H(f)|^2 + \lambda_2} \quad (27)$$

Burada $H(f)$ verici, yayılma ortamı ve alıcıdan oluşan iletim kanalının frekans tepkisi; λ_1 ve λ_2 parametreleri ise doğrusal olmayan denklem sisteminin sayısal olarak çözülmesiyle hesaplanan Lagrange çarpanlarıdır.

$$-\frac{\lambda_1}{2} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|H(f)|^2}{|H(f)|^2 + \lambda_2} df = \alpha y_{pmax} \quad (28)$$

$$-\frac{\lambda_1^2}{4} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|H(f)|^2}{[|H(f)|^2 + \lambda_2]^2} df = W \quad (29)$$

Burada W , uyarıcı sinyalin izin verilen maksimum enerjisidir ve αy_{pmax} ($\alpha \leq 1$) ekonun gerekli tepe genliğidir.

Optimizasyon sonucu seçilen yankı genliğine bağlıdır: gerekli genlik ne kadar düşük olursa, yankı o kadar dar olur ve dolayısıyla belirli bir bağıl gürültü genliği için yanlış ateşleme olasılığı da o kadar düşük olur. Şekil 9'da uyarıcı sinyalleri $x(t)$ ve bunlara karşılık gelen beklenen yankılar $y(t)$ 'nin iki örneği gösterilmektedir. Bu nedenle, herhangi bir koşulda kullanılacak en iyi sinyal, gerçek gürültü miktarına bağlıdır.

Sensör, yankısız aralıklarla giriş sinyalini izleyerek gerçek gürültüyü tahmin eden basit bir gürültü ölçüm sistemi içerir. Gürültü ölçüm sistemi çıkışı, düşük, orta ve yüksek gürültü koşullarında iyi sonuçlar elde etmek üzere uyarlanmış üç optimal sinyal arasında geçiş yapmak için kullanılır. Ek olarak, yankı genliği temel olarak zeminin yansıtıcılığına ve mesafesine bağlıdır. Bu tür etkiler, yankı genliğinin sabit bir değerde tutulacağı şekilde alıcı devrede bir otomatik kazanç kontrol amplifikatörü kullanılarak en aza indirilir [15].

Sistem 8 MHz'de çalışır, bu nedenle zaman çözünürlüğü 125 ns'dir ve ölçülebilir maksimum uçuş süresi yaklaşık 8 ms'dir. Bu durum 1 m'den daha büyük bir mesafeye karşılık gelir. 50 Hz'lik bir multivibratör, her 20 ms'de bir okuma sağlayarak sayacı yeniden başlatır.

4.3. Sıcaklık Ölçümü ve Mesafe Tahmini

Hava sıcaklığının ölçümü, k_T duyarlılığı 10 mV/C olan bir katı hal sensörü kullanılarak gerçekleştirilir. Sensör, ölçüm başlığının içine monte edilmiştir ve 1 °C'den daha az kalibre edilmemiş bir hataya sahiptir. Düşük maliyetli, çarpan 14 bitlik bir DAC, uçuş süresiyle orantılı bir V_{out} voltajı üretmek için sayaç çıkışı N_l ile beslenir:

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \frac{N_l}{2^{14}-1} \quad (30)$$

14 DAC dijital girişi sayacın en önemli bitlerine bağlanır, böylece daha az önemli olan bit 0,5 mikro saniyelik bir zaman aralığına karşılık gelir. DAC'ın doğrusal olmaması genel ölçüm belirsizliğini ihmal edilebilir düzeyde etkiler. DAC voltaj referansı V_{ref} , sabit bir referans V_{ref0} 'ı sıcaklık sensörü tarafından üretilen voltajın kalibre edilmiş bir varyasyonu ile toplanarak elde edilir, böylece aşağıdaki formüle göre sıcaklıkla orantılı bir voltaj üretilir:

$$V_{out} = V_{ref0} + A_1 k_T T \quad (31)$$

A_1 katsayısının değerlerini ayarlayarak, ses değişiminin hızını kısmen telafi eden sıcaklıktaki bir V_{ref} değişimini elde etmek mümkündür. Sesin hızı sıcaklığın kareköküyle değiştiğinden ve referans voltajı sıcaklıkla doğrusal olarak değiştiğinden telafi tamamlanmamıştır. Artık sıcaklık etkisi, sesin havadaki hızının ve sıcaklığa bağlı referans voltajının çıkış voltajı V üzerindeki etkileri karşılaştırılarak analitik olarak tahmin edilmiştir. Beklenen sıcaklık etkisi 0 °C ila 40 °C aralığında $\pm 0,03$ 'ten azdır (0,3 m'lik ölçülen mesafe için yaklaşık $\pm 0,1$ mm). Otomotiv sensörleri için makul bir sıcaklık aralığı olan 20 °C ila 70 °C sıcaklık aralığı dikkate alınırsa aynı etki yaklaşık %0,1'dir ($D=0,3$ mm için $\pm 0,3$ m).

Analog devre, çıkıştan sabit N_0 koduna karşılık gelen bir voltajı çıkaran ve böylece yalnızca mesafeyle orantılı bir voltaj üreten işlemsel yükselteçler A_2 ve A_3 tarafından tamamlanır. Dijital çıkış, 8 bitlik bir analogdan dijitale dönüştürücü tarafından sağlanan isteğe bağlı bir dijital sıcaklık değeriyle birlikte daha ileri dijital işleme için mevcuttur. Sensör kalibrasyonu, sensör kafasını bilinen iki mesafe arasında hareket ettirirken kazanç ve sıfır düzelticiler üzerinde çalıştırılarak elde edilebilir [15].

5. Kameralar

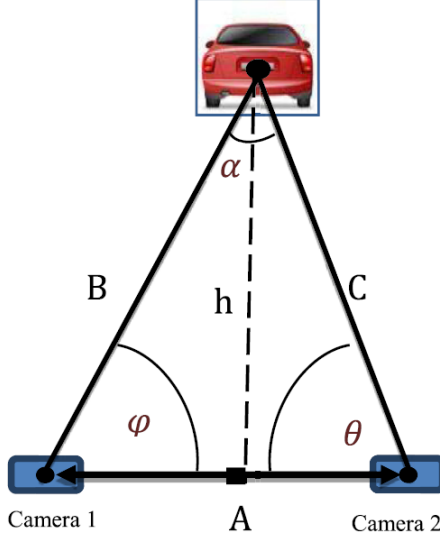
Mono görüş sistemleri, kamera görüş alanındaki referans noktalarına dayalı olarak mesafeyi tahmin etmek için bir kamera kullanır ve genellikle görsel yönlendirme amacıyla kullanılır. Stereo görüş sistemi, mesafeyi hesaplamak için stereoskopik mesafe belirleme tekniklerini temel alan bir bilgisayarlı görme sistemidir. Bu sistem, iki kamerayı tek kamera gibi kullanarak derinlik izlenimi vermeye ve kameralar arasındaki nesnelerin eşitsizliğinden yararlanarak mesafeyi yüksek doğrulukla hesaplamaya çalışır.

Nesne mesafe ölçümü ile ilgili mevcut birçok çalışma olsa da bunların mesafe ölçüm yöntemlerinde profesyonel kameralar kullanılmış ve hesaplama formülleri, süreci zaman alıcı hale getiren karmaşık hesaplama terimleri içermiştir. Ancak burada, yalnızca web kameraları kullanılarak mesafe ölçümü için stereo görüşe dayalı bir algoritma açıklanacaktır.

5.1. Stereo Görüş Yöntemi

Stereo görüş, yatay olarak hizalanmış ve dikey olarak birbirinden diğerine yerleştirilmiş iki kameradan bir sahnenin derinlik bilgisini çıkarmayı, kendi gözlerimize benzer şekilde aynı sahnenin aynı anda iki farklı görüntüsünü elde etmeyi amaçlayan iyi bilinen bir tekniktir. Temel fikir, bir sahneyi iki farklı bakış açısından kaydetmek ve sahnedeki nesnelerin konumunu, ilişkisini ve yapısını belirtmek için eşitsizlikten yararlanmaktır. İki görüntüdeki piksel konumları arasındaki fark derinlik izlenimi yaratır. Nesnenin mesafesi, iki kameranın örtüşen görüş alanında olduğunda ölçülür.

Şekil 11'de gösterildiği gibi, iki kamera yatay olarak monte edilmiştir ve A mesafesi kadar ayrılmıştır; burada h , nesne ile kameralar arasında istenen mesafedir. Bu mesafeyi ölçmek için şu parametreler gereklidir: nesne ile sol kamerayı ayıran mesafe B, nesne ile sağ kamera arasındaki mesafe C, ve nesne ile iki kameranın oluşturduğu üçgenin açılarıdır $(\alpha, \varphi, \theta)$ [16].



Şekil 11. Stereo kamera olarak monte edilmiş iki kamera örneği [16].

Trigonometrik fonksiyonlara bağlı olarak:

$$\sin\varphi = \frac{h}{B} \quad (32)$$

$$\sin\theta = \frac{h}{C} \quad (33)$$

denklemleri elde edilir. Ayrıca sinüs kuralına göre;

$$h = B \cdot \sin\varphi = C \cdot \sin\theta \quad (34)$$

$$\frac{A}{\sin\alpha} = \frac{B}{\sin\theta}, \quad B = \frac{A \sin\theta}{\sin\alpha} \quad (35)$$

elde edilmektedir. Sonuçta (34) ve (35) denklemleri kullanılarak:

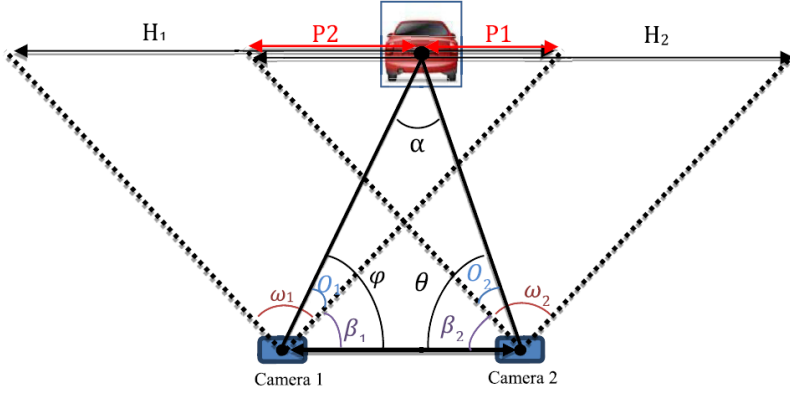
$$h = \frac{A \sin\theta \sin\varphi}{\sin\alpha} \quad (36)$$

sonucuna ulaşılır.

5.1.1. Açıların (θ , φ , α) Hesaplanması

Öklid geometrisinde bir üçgenin açılarının toplamı her zaman düz açıya eşittir, dolayısıyla:

$$\theta + \varphi + \alpha = 180^\circ \quad (37)$$



Şekil 12. Mesafeyi hesaplamak için kullanılan açıların çizimi [16].

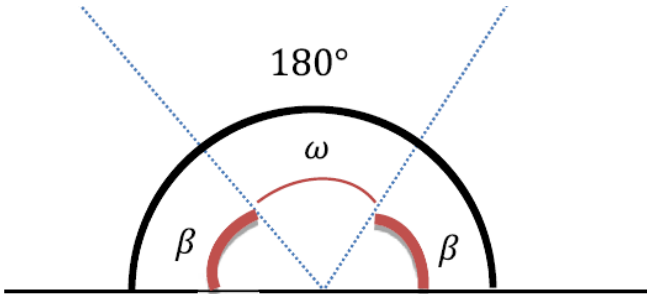
Şekil 12'de, ω_1, ω_2 sırasıyla iki kameranın görüş açıları, H_1, H_2 sırasıyla iki kameranın yatay piksel sayısı, P_1, P_2 ise nesnenin her iki kameradaki konumunu göstermektedir. Burada P_1 , nesnenin ağırlık merkezi ile soldaki kamera için örtüşme alanının sonu arasındaki piksel cinsinden mesafedir. P_2 ise nesnenin merkez noktası ile sağ kamera için örtüşme alanının başlangıcı arasındaki piksel cinsinden mesafeyi vermektedir.

$$\varphi = O_1 + \beta_1, \theta = O_2 + \beta_2 \quad (38)$$

denklemleri ile ifade edilir. Buradan Şekil 13'e göre:

$$\beta = \frac{180-\omega}{2}, \beta_1 = \frac{180-\omega_1}{2}, \beta_2 = \frac{180-\omega_2}{2} \quad (39)$$

elde edilir.



Şekil 13. Kameranın açıları [16].

O_1 ve O_2 açıları, nesnenin her iki kameradaki (P_1 ve P_2) konumu ile iki kameradaki ($Ap1$ ve $Ap2$) her piksele karşılık gelen açılarla çarpılarak elde edilebilir:

$$O_1 = P_1 \cdot Ap1, \quad O_2 = P_2 \cdot Ap2. \quad (40)$$

Bu nedenle $Ap1$ ve $Ap2$ açılarının hesaplanması gerekir. Birinci kamera için ω_1 açısı H_1 piksele karşılık gelir ve ω_2 açısı ikinci kamera için H_2 piksele karşılık gelir. Yani $Ap1$ ve $Ap2$ şu şekilde tanımlanır:

$$Ap1 = \frac{\omega_1}{H_1}, \quad Ap2 = \frac{\omega_2}{H_2}. \quad (41)$$

Denklem (38), (40) ve (41)'e göre:

$$\varphi = P_1 \cdot \frac{\omega_1}{H_1} + \beta_1, \quad \theta = P_2 \cdot \frac{\omega_2}{H_2} + \beta_2 \quad (42)$$

olarak elde edilir. Denklem (37) kullanılarak:

$$\alpha = 180 - (\varphi + \theta) = 180 - \left(\left(P_1 \cdot \frac{\omega_1}{H_1} + \beta_1 \right) + \left(P_2 \cdot \frac{\omega_2}{H_2} + \beta_2 \right) \right) \quad (43)$$

şeklinde hesaplanır. Son olarak denklem (36), (42) ve (43)'a göre:

$$h = \frac{\left(A \sin \left(P_2 \cdot \frac{\omega_2}{H_2} + \beta_2 \right) \sin \left(P_1 \cdot \frac{\omega_1}{H_1} + \beta_1 \right) \right)}{\sin \left(180 - \left(\left(P_1 \cdot \frac{\omega_1}{H_1} + \beta_1 \right) + \left(P_2 \cdot \frac{\omega_2}{H_2} + \beta_2 \right) \right) \right)} \quad (44)$$

denklemini elde edilir. Objenin mesafesi, her iki kameranın görüş açılarını, kameralar arasındaki mesafeyi ve her iki kameradaki obje pozisyonlarını dikkate alarak kolayca hesaplanabilir [16].

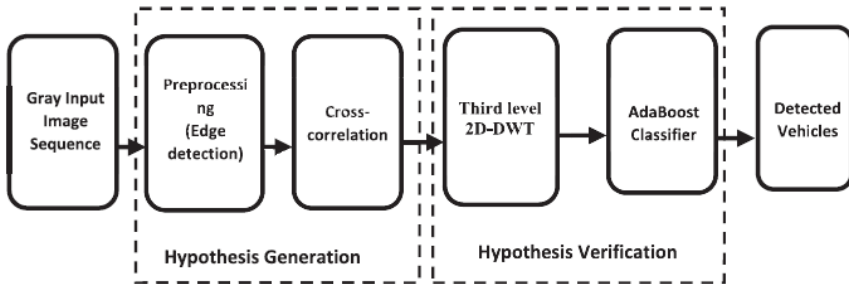
5.2. Nesne Algılama

Araç tespit algoritmasının performansının mesafe ölçüm performansı ile orantılı olarak hareket ettiği mesafe ölçüm sistemlerinde nesnelerin tespiti önemli bir görevdir. Bu nedenle araç mesafesini ölçmeden önce verimli bir araç tespit algoritması uygulanır. Bu algoritma iki adımdan oluşur: hipotez oluşturma adımı ve hipotez doğrulama adımı. Hipotez oluşturma adımı, araçların potansiyel konumları (hipotezler) oluşturulur, bu oluşturma, kenar tespiti kullanılarak bir ön işlem gerçekleştirildikten sonra çapraz korelasyon kullanılarak araç şablonlarının görüntülerle eşleştirilmesine dayanır. Hipotez doğrulamasında, ilk adımda oluşturulan hipotezler iki işlem gerçekleştirilerek doğrulanır: özellik çıkarma ve sınıflandırma. İki boyutlu

ayrık dalgacık dönüşümünün üçüncü seviyesi, oluşturulan hipotezlerden özellikler çıkarmak ve bunları AdaBoost (Adaptive Boosting) sınıflandırıcısını kullanarak hipotezleri araç veya araç olmayan olarak sınıflandırmak için kullanmak için gerçekleştirilir. Stereo görüş sisteminde mesafe ölçümü için her iki kameranın yakaladığı görüntülere zaman harcayan nesne tespit yöntemleri uygulanır. Bununla birlikte, önerilen yöntemde, nesne tespit yöntemi yalnızca bir kamera tarafından yakalanan görüntülere uygulanır, ardından açıkça işleme süresini azaltan stereo eşleştirme yöntemi uygulanır. Şekil 14, bu prosesin genel akış diyagramını göstermektedir [17].

5.3. Stereo Eşleştirme

Bu tür sistemlerde karşılaşılabileceğimiz sorun, birden fazla nesne varken sol kamerada seçilen nesnenin sağ kameradakiyle aynı olduğunu nasıl bileceğidir. Bu nedenle nesnelerin mesafelerini ölçmeden önce, aynı nesnenin iki görüntüdeki konumunu tanımlamamız gerekir. Bu tür sistemlerde her iki kameranın yakaladığı görüntülere nesne tespit yöntemleri uygulanır. Daha sonra her iki kamerada da tespit edilen nesneleri eşleştirmek için bazı stereo eşleştirme algoritmaları uyguluyorlar ve bu da zaman alıyor. Ancak yöntemdeki amaç, tek kamera ile çekilen görüntülere araç tespit yöntemini uygulayarak araçlar konumlarını belirlemek ve daha sonra bunları diğer kameranın çektiği görüntülerdeki aynı araçlarla eşleştirmektir. Bu eşleştirme, ilk kamera tarafından alınan görüntülerde tespit edilen araçlar ile ikinci kamera tarafından alınan görüntülerde aynı yatay konumda gerçekleştirilen çapraz-korelasyon tekniği ile yapılmaktadır.



Şekil 12. Araç algılama sürecinin genel akış diyagramı [16].

İlk kamera tarafından alınan görüntülerde tespit edilen araç ile ikinci kamera tarafından alınan görüntülerde aynı yatay konumda gerçekleştirilen

çapraz-korelasyon tekniği ile eşleştirme yapılmaktadır. Temelde, çapraz-korelasyon fonksiyonu $+1$ ve -1 arasında değişir, en iyi korelasyon durumu, çapraz-korelasyon fonksiyonunun $+1$ 'e yakın değerler aldığı belirlenir. Bu nedenle, çapraz-korelasyon tekniği sonucunun önceden belirlenmiş bir eşik değerinden büyük bir maksimum değer aldığı en iyi eşleşme tespit edilir. Ancak sonuç belirli bir eşik değerinden daha küçük bir değer aldığı hiçbir eşleşme tespit edilemez. Başka bir deyişle, araç sadece her iki kameranın örtüşen görüş alanının dışında tespit edilebilir [16].

6. Sonuç

Bu çalışmada otonom araçlarda kullanılan sensör yapılarının temel veri toplama ve işleme yapıları anlatılmıştır. Bu araçlar otonom sürüşü desteklemek için farklı amaçlara hizmet eden çeşitli sensörlerle donatılmıştır. Çevresel değişimleri ve oluşumları kavramak için kullanılan bu sensörler farklı yapılarda (optik, manyetik vb.) tasarlanarak kullanılabilir. Otonom araçlarda kritik öneme sahip dört sensör çeşidi bulunmaktadır. Bunlar RADAR, LiDAR, Ultrasonik ve kamera sensörleridir. Radar sensörü, radyo dalgalarını kullanarak çevresel öğeleri algılar ve aracın güvenli şekilde ilerlemesine olanak sağlar. LiDAR ise RADAR ile aynı görevi yapmakla beraber lazer ışınları kullandıkları için hava şartlarından fazlaca etkilenmektedir. Ultrasonik sensörler yakın mesafe algılama için oldukça verimlidir fakat uzun mesafelerde verimleri düşer. Kameralar, cisimlerden yayılan ışığı toplar ve elde edilen veriler ile görüntüler oluşturur fakat bu süreçlerde işlenmesi gereken büyük veri paketleri ortaya çıkar. Tüm bu sistemler farklı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bu sebeple otonom araçlarda, sensörlerin avantajlarından faydalanan hibrit bir sistem oluşturulmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Yeong, D. J., Velasco-Hernandez, G., Barry, J., & Walsh, J. (2021). Sensor and sensor fusion technology in autonomous vehicles: A review. *Sensors*, 21(6), 2140.
- [2] Patole, S. M., Torlak, M., Wang, D., & Ali, M. (2017). Automotive radars: A review of signal processing techniques. *IEEE Signal Processing Magazine*, 34(2), 22-35.
- [3] Ortiz, F. M., Sammarco, M., Costa, L. H. M., & Detyniecki, M. (2022). Applications and services using vehicular exteroceptive sensors: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 8(1), 949-969.
- [4] Wong, P. K., Tam, L. M., & Ke, L. (2012). Automotive engine power performance tuning under numerical and nominal data. *Control Engineering Practice*, 20(3), 300-314.
- [5] Kim, J., Park, S., & Lee, U. (2020). Dashcam witness: Video sharing motives and privacy concerns across different nations. *IEEE Access*, 8, 110425-110437.
- [6] Wahlström, J., Skog, I., & Händel, P. (2017). Smartphone-based vehicle telematics: A ten-year anniversary. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(10), 2802-2825.
- [7] Seneviratne, S., Hu, Y., Nguyen, T., Lan, G., Khalifa, S., Thilakarathna, K., ... & Seneviratne, A. (2017). A survey of wearable devices and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(4), 2573-2620.
- [8] Ortiz, F. M., Sammarco, M., Costa, L. H. M., & Detyniecki, M. (2020). Vehicle telematics via exteroceptive sensors: A survey. *arXiv preprint arXiv:2008.12632*.
- [9] Chaki, J., Dey, N., Shi, F., & Sherratt, R. S. (2019). Pattern mining approaches used in sensor-based biometric recognition: a review. *IEEE Sensors Journal*, 19(10), 3569-3580.
- [10] Shung, J. L. W., Piazzoni, A., Vijay, R., Kin, L. A. H., & de Boer, N. (2023). White paper on Selected Environmental Parameters affecting Autonomous Vehicle (AV) Sensors. *arXiv preprint arXiv:2309.02673*.

- [11] Liang, Q., Wang, Z., Yin, Y., Xiong, W., Zhang, J., & Yang, Z. (2023). Autonomous aerial obstacle avoidance using LiDAR sensor fusion. *Plos one*, 18(6), e0287177.
- [12] Wang, X., & Zhu, J. (2024). Vehicle-mounted imaging LiDAR with nonuniform distribution of instantaneous field of view. *Optics & Laser Technology*, 169, 110063.
- [13] Vargas, J., Alsweiss, S., Toker, O., Razdan, R., & Santos, J. (2021). An overview of autonomous vehicles sensors and their vulnerability to weather conditions. *Sensors*, 21(16), 5397.
- [14] Xu, W., Yan, C., Jia, W., Ji, X., & Liu, J. (2018). Analyzing and enhancing the security of ultrasonic sensors for autonomous vehicles. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(6), 5015-5029.
- [15] Carullo, A., & Parvis, M. (2001). An ultrasonic sensor for distance measurement in automotive applications. *IEEE Sensors journal*, 1(2), 143.
- [16] Zaarane, A., Slimani, I., Al Okaishi, W., Atouf, I., & Hamdoun, A. (2020). Distance measurement system for autonomous vehicles using stereo camera. *Array*, 5, 100016.
- [17] Wei, S. D., & Lai, S. H. (2008). Fast template matching based on normalized cross correlation with adaptive multilevel winner update. *IEEE Transactions on Image Processing*, 17(11), 2227-2235.