



T.C.
KÜTAHYA SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
BİTİRME TEZİ

GPS DESTEKLİ STM32 MİKRODENETLEYİCİ İLE
UZAKTAN ARAÇ KONTROL VE YÖNETİMİ

REMOTE VEHICLE CONTROL AND MANAGEMENT
WITH GPS-SUPPORTED STM32 MICROCONTROLLER

Baki DİNÇ
Danışman: Dr. Ahmet BAŞTUĞ

KÜTAHYA / 2025

Ön Söz/ Teşekkür

Bu çalışma, GPS destekli bir STM32 mikrodenetleyici kullanarak uzaktan araç kontrol ve yönetim sistemi tasarlama sürecindeki deneyimlerimi, karşılaştığım zorlukları ve elde ettiğim sonuçları paylaşmak amacıyla kaleme alınmıştır. Günümüzde otonom sistemlere ve akıllı araç teknolojilerine olan ilginin artması, bu projeyi hem teknik bir meydan okuma hem de yenilikçi bir çözüm arayışı olarak şekillendirdi. Amacım, bu alanda çalışan araştırmacılar ve mühendisler için açık kaynaklı bir referans sunmak ve özellikle sınırlı kaynaklarla neler başarılabileceğini göstermektir.

Bu proje, sadece teorik bir çerçeve değil, aynı zamanda pratik uygulamaların ve gerçek zamanlı veri işlemenin önemini vurgulamaktadır. Okurken karşılaştığınız her bir satır, masa başında geçirilen uzun saatlerin, donanım-yazılım entegrasyonundaki detayların ve sonuca ulaşma heyecanının bir yansımasıdır. Umarım bu proje, benim için olduğu kadar sizler için de ilham verici olur.

Bu çalışmanın hayata geçirilmesinde emeği olan tüm kişi ve kurumlara içten teşekkürlerimi sunarım. Öncelikle, danışmanım Dr. Ahmet Baştuğ'a, projenin her aşamasında beni yönlendiren değerli önerileri ve sabrı için minnettarım. Teknik destekleriyle Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi'ndeki kaynaklara erişim imkânı sağladıkları için teşekkür ederim.

Aileme ve arkadaşlarıma, bu süreçteki motivasyonumu kaybetmediğim her an yanımda oldukları için sonsuz şükranlarımı iletiyorum. Son olarak, açık kaynak topluluğuna ve bu projede kullandığım teknolojilerin geliştiricilerine, bilgi paylaşımına olan katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma Tübitak 2209-A kapsamında desteklenmektedir.

ÖZET

Otonom araçlar, günümüzün en önemli teknolojik gelişmelerinden biri olarak ulaşımda devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Çevresel engelleri algılama ve otonom hareket etme yetenekleri sayesinde bu araçlar, çeşitli uygulamalarda etkili bir çözüm sunabilir. Proje, STM32 mikrodenetleyicisi ile GPS verilerini kullanarak uzaktan kontrol edilebilen bir araç kontrol sistemi geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu sistem, otonom tarım araçları, lojistik yönetimi, güvenlik sistemleri ve acil durumlarda arama-kurtarma gibi alanlarda kullanılabileceği gibi, akıllı şehir uygulamaları, endüstriyel otomasyon ve sağlık hizmetleri gibi diğer alanlarda da etkin bir şekilde yer alabilir. Sistemin uygulanması, çevresel etkenlere dayanıklı, verimli ve güvenli bir ulaşım sağlama amacına hizmet edecektir. Aynı zamanda, STM32 tabanlı otonom araçların altyapısını oluşturma potansiyeliyle de önemli bir yenilik sunmaktadır. Geliştirilen sistem, engel tanıma ve gerçek zamanlı veri analizi yetenekleriyle donatılmıştır. Düşük maliyetli STM32 mikrodenetleyicisi kullanımı sayesinde enerji verimli ve maliyet etkin bir çözüm elde edilmesi hedeflenmiştir. Proje kapsamında sistem donanımının tasarımı, motor kontrol algoritması, GPS entegrasyonu ve engel algılama sistemi yer almaktadır. Sistem, farklı çevre koşullarında ve zemin yapılarında test edilerek etkinliği artırılmıştır. STM32 mikrodenetleyicisinden elde edilecek çeşitli sensör verileri, projenin başarısını destekleyen önemli faktörlerdendir. Bu proje, akıllı araç teknolojilerinin gelişiminde önemli bir adım atarak gelecekteki otonom ulaşım çözümlerine ve günlük yaşamda daha güvenli ve verimli ulaşım sağlama amacına katkıda bulunacaktır.

Anahtar Kelimeler- GPS Konumlama, Mikrodenetleyici, Motor Kontrolü, Sensör Entegrasyonu, STM32

ABSTRACT

REMOTE VEHICLE CONTROL AND MANAGEMENT WITH GPS SUPPORTED STM32

Autonomous vehicles have the potential to revolutionize transportation as one of today's most important technological developments. Thanks to their ability to detect environmental obstacles and move autonomously, these vehicles can offer an effective solution in various applications. The project aims to develop a vehicle control system that can be remotely controlled using GPS data with the STM32 microcontroller. This system can be used in areas such as autonomous agricultural vehicles, logistics management, security systems and search and rescue in emergencies, as well as in other areas such as smart city applications, industrial automation and healthcare. The implementation of the system will serve the purpose of providing efficient and safe transportation that is resistant to environmental factors. It also offers an important innovation with the potential to create the infrastructure for STM32-based autonomous vehicles. The system will be equipped with obstacle recognition and real-time data analysis capabilities. Thanks to the use of the low-cost STM32 microcontroller, it is aimed to achieve an energy efficient and cost effective solution. The scope of the project includes the design of the system hardware, motor control algorithm, GPS integration and obstacle detection system. The system was tested in different environmental conditions and ground structures to increase its effectiveness. Various sensor data to be obtained from the STM32 microcontroller is one of the important factors supporting the success of the project. This project will contribute to future autonomous transportation solutions and the goal of providing safer and more efficient transportation in daily life by taking an important step in the development of smart vehicle technologies.

Keywords- GPS Positioning, Microcontroller, Motor Control, Sensor Integration, STM32

1. İçindekiler

Ön Söz/ Teşekkür	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
BÖLÜM I: Giriş	1
1.1. Problem Durumu	1
1.3. Araştırmanın Önemi	2
1.4. Araştırmanın Sınırlılıkları	3
1.4.1. Veri erişimi ve kalitesi:.....	3
1.4.2 Finansal kısıtlamalar:.....	3
1.4.3 Kısıtlı deneysel koşullar:	4
1.4.4 Teknolojik entegrasyon zorlukları:.....	4
1.4.5 Ölçeklenebilirlik:	4
BÖLÜM II: YÖNTEM	5
2.1 Araştırma Modeli	5
2.2 Evren ve Örneklem	5
2.3 Veri Toplama Aracı/Araçları	6
2.3.1 Donanımsal araçlar	6
2.3.2 Yazılımsal araçlar	6
2.3.3 Açık kaynak kütüphaneler	6
2.4. Verilerin Toplanması.....	18
2.5. Verilerin Analizi.....	21
BÖLÜM III: BULGULAR	23
BÖLÜM IV: SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	29
4.1. Sonuç.....	29

4.2. Tartışma	30
Kaynakça	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

Şekiller Tablosu

Şekil 1- Sistem Mimarisi	22
Şekil 2- Araç Hareketine Ait İki GPS Noktası Arasındaki Coğrafi Yön ve Mesafe	23
Şekil 3- Planlanan Güzergâh ile GPS Verilerine Göre Yolun Karşılaştırılması	24
Şekil 4- İç Mekan Pencere Kenarı GPS Ölçüm Değerleri ve sapmaları	26
Şekil 5- Açık Alanda GPS Ölçüm Verileri	27
Şekil 6- Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Germiyan Kampüsünde Yürüme İle Toplanan GPS Verilerinin Görselleştirilmesi	27
Şekil 7- 8 Hedefli Yön Güzergahı ve Aracın Hedeflere Yaklaşma Uzaklıkları	28
Şekil 8- 3 Hedefli Yön Güzergahı ve Aracın Hedeflere Yaklaşma Uzaklıkları	28

BÖLÜM I: Giriş

1.1. Problem Durumu

Günümüzde araç kontrol sistemleri, kablosuz iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte uzaktan yönetim, gerçek zamanlı konum takibi ve veri analizi gibi işlevsel gereksinimleri karşılamak zorundadır. Özellikle endüstriyel otomasyon, tarım makineleri ve insansız araç (UGV) sistemlerinde bu tür teknolojilere olan talep, mevcut çözümlerin hem maliyet hem de performans açısından yetersiz kalmasına neden olmaktadır (Baumann, ve diğerleri, 2021). Piyasadaki ticari sistemlerin çoğu, yüksek lisans ücretleri veya karmaşık entegrasyon süreçleri nedeniyle erişilebilirliği sınırlandırmakta bu da özellikle KOBİ'ler ve akademik projeler için engel teşkil etmektedir.

Bu bağlamda, STM32 mikrodenetleyici tabanlı bir sistemin GPS modülü ile entegre edilerek uygun maliyetli ve yüksek güvenilirlik sunan bir çözüm tasarlanması önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Literatürde, STM32'nin düşük güç tüketimi ve çoklu çevresel birim desteği (PC, SPI, UART vb) sayesinde gerçek zamanlı sistemlerde sıklıkla tercih edildiği belirtilmektedir. Ancak, bu mikrodenetleyicinin GPS tabanlı konum yönetimi ile birlikte kullanıldığı entegre sistemlerin tasarımına yönelik çalışmalar sınırlıdır.

Mevcut çözümlerde (örneğin, Arduino tabanlı sistemler) GPS veri işleme hızının düşük olması ve RTK (Gerçek Zamanlı Kinematik) destekli sistemlerin yüksek maliyet gerektirmesi ($\approx 1000\$$), bu projenin teknik katkısını daha da değerli kılmaktadır. Ayrıca, geliştirilecek sistemin tarım araçlarının otomatize edilmesi, afet sonrası arama-kurtarma operasyonları gibi multidisipliner alanlarda kullanım potansiyeli, sosyoekonomik katkıyı da artırmaktadır.

Kuramsal Çerçeve ve Kavramsal Temeller

STM32'nin tercih edilmesinin temel nedeni, Cortex-M çekirdeği sayesinde deterministik tepki süreleri ($<10\mu s$) sunması ve gerçek zamanlı işletim sistemleri

(RTOS) ile uyumlu olmasıdır. Standart GPS modülleri, NMEA-0183 protokolü aracılığıyla 3-5 metre hassasiyetinde konum verisi sağlamaktadır (Government., (n.d.)). Bu çalışmada, yüksek maliyetli RTK/PPK teknikleri yerine standart GPS modülü (Ublox NEO-M8N) kullanılması tercih edilmiş olup, amaç düşük bütçeli ancak kararlı bir sistem sunmaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma hem teorik (entegrasyon optimizasyonu) hem de pratik (uygun maliyetli prototip) açılımlar sunarak alandaki boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

1.2. Araştırmanın Amacı

Bu projenin amacı, STM32 mikrodenetleyicisi kullanılarak, önceden tanımlanmış A noktasından B noktasına uzaktan kontrol edilebilir, GPS ve engel sensörleri entegrasyonu ile hareket edebilen bir araç sistemi geliştirmektir (Pradeeppraja, 2024). Geliştirilecek sistem, mevcut konum verisiyle hedef noktalar arasında güvenli geçiş sağlayarak, çevresel engelleri tespit edip aşabilmekte ve dinamik navigasyon gerçekleştirebilmektedir (Albilani, (2022, October)). Proje, farklı disiplinlerin veri akışlarının karmaşıklığını ve kullanıcı ihtiyaçlarının çeşitliliğini harmanlayarak özgün algoritmalar geliştirilmesine olanak tanımakta, böylece akademik ve endüstriyel alanda yerli, düşük maliyetli ve enerji verimli çözümler sunmayı, engellerin tanınması, çevresel uyum, GPS yönlendirmesi ve hızlı veri işleme gibi özellikleriyle geniş bir kullanım alanına hitap etmeyi amaçlamaktadır (Abdrakhmanov, (2021, September)).

1.3. Araştırmanın Önemi

Düşük maliyetli ve enerji verimli, aynı zamanda yüksek performanslı uzaktan kontrol edilebilir araç kontrol sistemi geliştirme ihtiyacı hâlâ devam etmektedir. Mevcut sistemler genellikle pahalı ve erişilemezdir, bu da toplumsal ve ekonomik anlamda önemli bir boşluk yaratmaktadır. Bu proje, Türkiye'de yerli çözümler geliştirmek ve dışa bağımlılığı azaltma amacıyla tasarlanmıştır. Yerli ve düşük maliyetli sistemler için erişilebilir bir araç tasarlamak, ekonomik bağımsızlık ve erişilebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, proje kapsamında yerli yazılım çözümleri ve entegrasyonu bu bağımlılığı azaltma yönünde önemli adımlar atılmaktadır (Famiglietti, 2021).

Proje, yalnızca bilimsel literatüre katkı sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda endüstriyel alanda da özgün bir örnek teşkil edecektir. Özellikle güvenlik, lojistik, tarım ve acil durum hizmetleri gibi pek çok sektörde etkili çözümler sunarak, toplumsal faydayı artıracaktır.

Araç kontrolü ve engel tespiti için geliştirilen algoritmalar, çevresel engelleri tespit etmek ve bu bilgiyi kullanarak navigasyon stratejileri oluşturmak üzerine odaklanacaktır. Bu çözüm hem güvenlik hem de çevresel uyum gibi kritik bir soruna hitap etmektedir. Ayrıca, bu proje, STM32 tabanlı uzaktan kontrol edilebilir araç teknolojileri için bir altyapı sağlayarak, gelecekteki araştırmalar ve uygulamalar için temel oluşturacaktır.

Sonuç olarak, bu proje, yerli üretimi teşvik etmek ve çeşitli endüstrilerde kullanılabilir çözümler sunmak amacıyla önemli bir adım olacaktır.

1.4 Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu çalışma, aşağıda belirtilen teknik, finansal ve çevresel sınırlılıklar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir:

1.4.1 Veri erişimi ve kalitesi:

GPS modülünden elde edilen konum verilerinin doğruluğu, açık ve engelsiz bir alanda sinyal alımına bağlıdır. Kapalı ortamlarda veya yüksek bina yoğunluğu olan bölgelerde GPS sinyallerinin zayıflaması veya kesilmesi, veri kalitesini olumsuz etkileyebilir. Bu durum, sistemin şehir içi gibi karmaşık ortamlardaki performans değerlendirmesini kısıtlamaktadır.

1.4.2 Finansal kısıtlamalar:

Proje bütçesi gereği, yüksek hassasiyetli RTK/PPK GPS modülleri yerine NEO-8M gibi düşük maliyetli GPS çözümleri tercih edilmiştir. Bu durum, konum hassasiyetinin metre seviyesinde ($\pm 2.5-5$ m) kalmasına neden olmakta ve milimetrik doğruluk gerektiren uygulamalarda kullanımını sınırlandırmaktadır. Ayrıca, enerji verimliliği ve işlem gücü dengelenerek orta-üst seviye bir mikrodenetleyici kullanılmıştır.

1.4.3 Kısıtlı deneysel koşullar:

Sistemin performans testleri, yağışlı, karlı veya çok şiddetli rüzgârlı hava koşullarında gerçekleştirilememiştir. Bu durum, aracın ekstrem ortamlardaki dayanıklılık ve navigasyon yeteneklerinin tam olarak değerlendirilmesini engellemektedir. Testler çoğunlukla açık hava sahalarında güneşli, bulutlu, hafif rüzgarlı ve rüzgarlı günlerde yapılmıştır.

1.4.4 Teknolojik entegrasyon zorlukları:

Ataletsel ölçüm birimi (IMU) sensörünün STM32 ile entegrasyonu sırasında, veri senkronizasyonu ve gürültü filtrelemesi gibi teknik zorluklarla karşılaşmıştır. IMU verilerinin işlenmesi için geliştirilen algoritmalar, araca entegre edilirken yaşanan zorluklar nedeniyle ikinci plana atılmıştır.

1.4.5 Ölçeklenebilirlik:

Geliştirilen prototip, küçük ölçekli bir araç üzerinde test edilmiştir. Sistemin endüstriyel boyuttaki araçlara uyarlanması için ek donanım revizyonları ve yazılım iyileştirmeleri gerekmektedir.

BÖLÜM II: YÖNTEM

2.1 Araştırma Modeli

Bu proje, deneysel bir araştırma modeline dayanmaktadır. Geliştirilen sistemin performansı, çeşitli test senaryoları kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırma süreci, sistemin tasarım aşamasından sonuçların analizine kadar bir dizi adımı kapsamaktadır. Deneysel araştırma modelinin temel amacı, sistemin işlevselliğini, verimliliğini ve güvenilirliğini farklı koşullar altında incelemektir.

Proje sürecinde, öncelikle belirli test koşulları oluşturulmuş ve her bir koşul için performans göstergeleri belirlenmiştir. Bu göstergeler, sistemin çeşitli özelliklerini (örneğin, hız, doğruluk, enerji verimliliği gibi) ölçmek için kullanılacaktır. Testler hem simülasyon olarak hem de gerçek dünya uygulamalarıyla yapılacak deneyler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Deneysel modelde izlenen yöntemler, kontrol grubu ile deneme grubu arasındaki farkları ortaya koymaya yönelik tasarlanmıştır. Elde edilen veriler analizler ve performans değerlendirmeleri ile incelenmiş, bu sayede geliştirilmiş sistemin başarısı objektif bir şekilde ölçülmüştür.

Araştırma sürecinde kullanılan test senaryoları ve veri toplama yöntemleri, projenin amacına uygun şekilde optimize edilmiştir. Bu doğrultuda, sistemin farklı parametreler altında nasıl davrandığına dair kapsamlı bir analiz yapılmıştır. Elde edilen bulgular, sistemin genel tasarımını ve işleyişini daha da iyileştirebilmek için geri bildirim sağlamaktadır.

2.2 Evren ve Örneklem

Çalışma grubu, STM32 mikrodenetleyicisiyle entegre edilmiş GPS modülü, bluetooth modülü, kızılötesi sensör ve diğer sensör birimlerinden oluşan bir araç kontrol sistemini içermektedir. Bu sistem, yarı otonom bir araç olarak tasarlanmış ve çeşitli test senaryoları doğrultusunda değerlendirilmiştir (Pradeepraja, 2024).

Başlangıçta, araç kontrol sisteminde 250 RPM hızında çalışan 6V DC motorlar kullanılmıştır. Ancak, yapılan testler ve dış yüzeydeki gözlemler sonucunda, bu motorların güç kapasitesinin araç için yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, motorların dönüş hızları ve tork kapasiteleri göz önünde bulundurularak, 6V 110 RPM motorlar ile değiştirilmiştir. Yeni motorlar, sistemin gereksinimlerini eski motorlara göre daha iyi karşılamakta olup, aracın hızını ve manevra kabiliyetini iyileştirmiştir. Sistem, motor değişikliği sonrası farklı hız ve manevra testlerine tabi tutulmuş ve bu testler aracılığıyla araç kontrol performansı değerlendirilmiştir (Projects, 2021).

2.3 Veri Toplama Aracı/Araçları

2.3.1 Donanımsal araçlar

- STM32 NUCLEO-F410RB
- STM32 NUCLEO-F429ZI
- L293D Motor Sürücü Entegresi
- 6V 110RPM Metal Dişli Redüktörlü DC Motor
- Taşınabilir Şarj Aleti (Powerbank)
- HC05 Bluetooth Sensörü
- USB Güçlendirici Voltaj Regülatör Kartı (5V to 3.3V-24V)
- MZ80- Kızılötesi Sensör
- UBlox NEO M8N GPS Modülü
- NodeMCU ESP8266 Geliştirme Kartı

2.3.2 Yazılımsal araçlar

- STM32CubeIDE (C programlama dili)
- Arduino IDE

2.3.3 Açık kaynak kütüphaneler

- Lwgps (v2.2.0)
- Geographiclib-c (v2.1)

STM32 NUCLEO-F410RB ve STM32 NUCLEO-F429ZI:

Proje sürecinde iki farklı STM32 mikrodenetleyici kartı kullanılmıştır: STM32 NUCLEO-F410RB ve STM32 NUCLEO-F429ZI.

İlk aşamada, proje temel düzeyde motor kontrolü ve sensör verilerinin okunması gibi işlemler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, düşük güç tüketimi ve temel çevresel birim desteği yeterli olan STM32 NUCLEO-F410RB kartı tercih edilmiştir. F410RB, PWM sinyali üretimi, L293D motor sürücü üzerinden motorların sürülmesi, Bluetooth modülü ve Kızılötesi sensörler ile engel algılama uzaktan kontrol gibi görevleri başarıyla gerçekleştirilmiştir (Zhang, 2023).

Projenin ilerleyen aşamalarında, kullanılacak pin sayısının artması, çevresel birimlerin çoğalması ve işlem gücü ihtiyacının artması nedeniyle, daha gelişmiş özellikler sunan STM32 NUCLEO-F429ZI kartına geçiş yapılmıştır. Bu geçiş, özellikle GPS verilerinin değerlendirilmesi, IMU sensörü ile çalışma ve kamera modülü gibi daha fazla kaynak gerektiren birimlerle entegre çalışma aşamalarında tercih edilmiştir.

Geçiş süreci, önceden planlanan bir gereklilikten ziyade projenin evrimi sırasında ortaya çıkan ihtiyaçlara karşılık olarak yapılmış ve sistemin daha esnek, güçlü ve genişletilebilir hale gelmesini sağlamıştır (Qi, 2022).

L293D Motor Sürücü Entegresi

İki Kanallı H-Brid Tasarımı: L293D, iki bağımsız motor kontrolünü sağlayabilen çift H-köprülü bir sürücü entegresidir. Bu yapı, her kanal için bağımsız olarak motorların ileri veya geri hareketini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Lojik Güç (VSS): Motorları kontrol etmek için kullanılan güç kaynağından gelen 5V lojik güç, entegreye sinyal işlemede kullanılır.

Motor Gücü (VS): Motorlara güç sağlamak amacıyla 6V gibi farklı bir gerilim uygulanır. Bu, motorların ihtiyaç duyduğu yüksek akımı ve torku sağlayarak çalışmasını destekler (abu, 2024).

PWM Kontrolü: Entegre, motorların hız kontrolü için PWM (Pulse Width Modulation) sinyallerini algılayarak uygulama yapar. PWM sinyalleri ile motor hızları hassas olarak ayarlanabilir; darbe genişliği arttıkça motor hızı artar (controllerstech, controllerstech, 2021).

Set/reset Mantığıyla Yön Kontrolü: Motorların ileri ve geri hareket yönü, L293D'nin kontrol pinlerine gönderilen sinyaller sayesinde sağlanır. İki pin, motorun yönünü belirlemek için set (aktif) ve reset (pasif) mantığı kullanılarak yapılandırılır. Bu sayede, ilgili motorlara gönderilen sinyaller sayesinde motorlar istenilen yönde döner.

Proje kapsamında 4 motorun kontrolünü sağlamak için iki adet L293D motor sürücü entegresi kullanılmıştır.

Motorların çalışması için 6V gerilim kullanılırken, kontrol sinyalleri için 5V lojik güç kaynağı tercih edilmiştir.

PWM sinyali üretmek için mikrodenetleyici genellikle yüksek frekanslı bir clock (örneğin 84 MHz) kullanır. Ancak, motor kontrolü gibi uygulamalar için daha düşük frekanslı (örneğin 10 kHz) PWM sinyali daha uygundur. Bu durumda, mikrodenetleyicinin zamanlayıcısında (timer) prescaler (Ön Bölücü) ve auto-reload register (Otomatik Yeniden Yükleme Değeri) ayarları yapılarak clock frekansı istenen PWM frekansına düşürülür.

PWM Frekansı Hesaplama

Timer tarafından üretilen PWM frekansı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$f_{\{PWM\}} = \frac{f_{clk}}{(PSC + 1) \times (ARR + 1)} \quad (1)$$

fclk: Timer'ın ana clock frekansı (örneğin, 84 MHz)

PSC: Prescaler değeri

ARR: Auto-reload register değeri (zamanlayıcının sayma periyodu)

Örnek Ayarlamalar (84 MHz'den 10 kHz'ye İndirgeme)

İstenilen PWM frekansı 10 kHz olduğunda:

$$10000 = \frac{84\ 000\ 000}{(PSC + 1) \times (ARR + 1)} \quad (1.1)$$

Bu denklemden görüyoruz ki toplam bölme katsayısı:

$$(PSC + 1) \times (ARR + 1) = \frac{84\ 000\ 000}{10\ 000} = 8400 \quad (1.2)$$

Burada farklı kombinasyonlarla istenilen bölme değerine ulaşılabilir. Örneğin:

Örnek 1:

Prescaler değeri: $PSC+1=84 \Rightarrow PSC=83$

Bu durumda,

$$ARR + 1 = \frac{8400}{84} = 100 \Rightarrow ARR = 99 \quad (1.3)$$

Timer(zamanlayıcı) modülünde kullanılan PSC (Prescaler) ve ARR (Auto-Reload Register) değerleri, donanımın sayma biçimi gereği "bir eksiği" olarak ayarlanır. Bu, timer sayacının her zaman 0'dan başlaması nedeniyle olur.

Prescaler değeri, sistem saat frekansını yavaşlatmak için kullanılır ve formülde (PSC + 1) olarak yer alır. Örneğin, 84'e bölmek için PSC = 83 seçilir.

Benzer şekilde, ARR değeri de sayaç kaç değere kadar sayacağını belirler. 100 periyotluk bir sayım isteniyorsa ARR = 99 girilir.

Bu yaklaşımla, timer frekansı ve PWM çıkışı hassas bir şekilde kontrol edilir.

PWM Sinyal Çıkışı ve Hız Kontrolü:

PWM sinyali, L293D motor sürücü entegresine gönderilir. Bu entegre, gelen PWM sinyali yardımıyla motorun hızını ve çalışma süresini kontrol eder. PWM duty cycle (görev döngüsü) ayarlanarak motorun hızında hassas kontrol sağlanır (Lu, 2022).

PWM Duty Cycle (Görev döngüsü) Ayarlama:

PWM sinyali, sabit bir frekansta çalışan ve belirli zaman aralıklarında "1" (yüksek) ve "0" (düşük) seviyelerine geçen bir sinyaldir.

Görev döngüsü, bir PWM periyodu içindeki "yüksek" sinyal süresinin, toplam periyot süresine oranıdır.

$$\text{Duty Cycle (\%)} = \left(\frac{\text{Yüksek Süre (High Time)}}{\text{Toplam Periyot Süresi}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Motor örneği üzerinden:

%100 duty cycle → sinyal hep yüksek, motor tam güçle döner.

%50 duty cycle → sinyal yarı yarıya yüksek, motor yarı hızla döner.

%0 duty cycle → sinyal hiç yüksek değil, motor durur.

Burada ARR (Auto Reload Register) periyot uzunluğunu belirler, CCR (Capture/Compare Register) ise sinyalin ne kadar süreyle yüksek kalacağını ayarlar.

- ARR = 99 → 100 birimlik bir PWM periyodu (0–99)
- CCR1 = 50 → Her periyotta sinyal 0–49 arası yüksek (50 birim), 50–99 arası düşük

Bu durumda:

$$\text{Duty Cycle} = \left(\frac{50}{100} \right) \times 100 = \%50$$

Yani, duty cycle artırıldıkça motor daha hızlı döner, azaltıldıkça yavaşlar.

6V 110RPM Metal Dişli Redüktörlü DC Motor

Bu motorlar, projede aracın tekerleklerinin hareketini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Her bir motor, 6V'luk bir besleme ile çalışmakta olup, dakikada 110 devir (RPM) hızında dönmektedir. Motorların dönme yönü ve hızı, mikrodenetleyici üzerinden gönderilen PWM sinyalleri ve çıkış pinleri (GPIO Output) ile kontrol edilmiştir. Bu kontrol L293D motor sürücü entegresi aracılığıyla sağlanmıştır. Entegre, her motor için

İki kontrol pini (IN1-IN2), iki çıkış pini (OUT1-OUT2) ve bir PWM girişi kullanarak motorların hem yönünü hem de hızının ayarlanmasında kullanılmıştır (Marmo, 2021).

Taşınabilir Şarj Aleti

Projede, hareketli bir sistem tasarlandığından dolayı sabit bir güç kaynağı kullanmak mümkün olmamıştır. Bu nedenle, sistemin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla taşınabilir bir şarj aleti (powerbank) tercih edilmiştir. Powerbank, hem mikrodenetleyici kartına (5V lojik seviyesi) hem de motorlara (6V besleme) enerji sağlamak için kullanılmıştır. Bu amaçla, gerekli voltaj seviyeleri voltaj regülatörleri aracılığıyla uygun voltaj değerlerine dönüştürülmüştür. Powerbank'in taşınabilirliği sayesinde sistem bağımsız şekilde hareket edebilmiş ve enerji problemi çözülmüştür.

HC05 Bluetooth Sensörü

Yakın mesafeden uzaktan kontrol sağlamak amacıyla HC05 Bluetooth sensörü kullanılmıştır. Bu sensör, mikrodenetleyici ile mobil uygulama arasında kablosuz iletişimi mümkün kılarak, aracın kontrol komutlarının iletilmesinde köprü görevi görmüştür (Wang A. , 2021).

Mobil uygulama üzerinden gönderilen komutlar, sensöre Bluetooth aracılığıyla iletilmekte; daha sonra HC05, UART* (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) haberleşme protokolü kullanarak bu komutları mikrodnetleyiciye aktarmaktadır.

İletilen komutlar üç harfli sabit dizilerden oluşmaktadır; örneğin:

- "*ile*": İleri yönde hareket komutunu temsil eder.
- "*sol*": Sola dönüş komutunu temsil eder.
- "*sag*": Sağa dönüş komutunu temsil eder.
- "*kyd*": Kuzeydoğuya dönüş komutunu temsil eder.
- "*kyb*": Kuzeybatıya dönüş komutunu temsil eder.
- "*gnd*": Güneydoğuya dönüş komutunu temsil eder.
- "*gnb*": Güneybatıya dönüş komutunu temsil eder.
- "*dur*": Aracın motor hareketinin durması komutunu temsil eder.

Bu komutlar, HC05 üzerinden ilgili mikrodnetleyiciye aktarılır ve mikrodnetleyici, gelen 3 harfli komutları alarak belirlenmiş *Move_state("komut")* fonksiyonuna iletir. Tanımlanan durum (state) yapıları aracılığıyla, gönderilen komuta karşılık araç uygun şekilde hareket ettirilir. Bu sistem sayesinde aracın ileri, geri, sağ, sol ve çapraz yönlerdeki hareketleri kontrol mekanizması oluşturulmuştur.

Bu yapı, operatöre mobil uygulama aracılığıyla kolay ve esnek bir kontrol imkânı sunarken, mikrodnetleyici ile Bluetooth sensörü arasındaki verimli iletişim sayesinde, yakın mesafeden uzaktan kontrol sistemini oluşturmaktadır.

USB Güçlendirici Voltaj Regülatör Kartı

Projede, taşınabilir şarj cihazından elde edilen voltaj değeri(5V), USB güçlendirici voltaj regülatör kartı kullanılarak istenen 6V'a yükseltilmiştir bu işlem, yüksek gerilim gereksinimi olan devre elemanlarının verimli bir şekilde çalışabilmesi için, kablolar aracılığıyla sisteme uygun voltaj seviyelerinin sağlanarak dönüştürülmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yükseltile 6V, jumper kablo yardımıyla breadboard'a aktarılmakta ve sistemin ilgili bölümlerinde kullanılmaktadır.

Mikrodenetleyici üzerinde 5V çıkışı olmasına rağmen ikinci bir voltaj regülatör kartının kullanılmasının sebebi mikrodenetleyiciye doğrudan yük bindirilmemesi amacıyla tercih edilmiştir.

Her iki voltaj regülatörü de jumper kablolar aracılığıyla breadboard'a bağlanmış ve gerekli güç hatları oluşturulmuştur. Bu sayede, her iki voltaj seviyesi (6V ve 5V) aynı breadboard üzerinde, ihtiyaç duyulan bileşenlere uygun şekilde yönlendirilmiştir. Voltaj regülatörlerinin her ikisi de taşınabilir şarj cihazına bağlıdır, bu sayede tüm sistemin güç kaynağı tek bir noktadan sağlanarak taşınabilirlik ve sistemin verimliliği artırılmıştır.

MZ80- Kızılötesi Sensör

Projede, önünde engel var mı yok mu tespiti amacıyla iki adet MZ80 kızılötesi (IR) sensör kullanılmıştır. Bu sensörler, belirli bir mesafe aralığında kızılötesi ışın gönderip, karşısındaki cisimden yansıyan sinyali algılayarak çalışır.

Her iki sensörden elde edilen dijital çıkış sinyalleri, mikrodenetleyiciye GPIO EXTI pinleri ile aktarılmakta ve yazılım içerisinde gerçek zamanlı olarak takip edilmektedir. Algılanan engel durumunda, motor kontrolüne yönelik hareket fonksiyonları çalıştırılmaktadır. Bu sayede; eğer engel tespit edilirse aracın önce durması daha sonra yön değiştirmesi sistem tarafından otomatik olarak devreye sokulmaktadır (Robokit, 2020).

GPS Teknolojisi ve UBlox NEO M8N GPS Modülü

Küresel Konumlama Sistemi (GPS), uydular aracılığıyla Dünya üzerindeki herhangi bir noktanın enlem, boylam ve yükseklik bilgilerini belirleyen bir konumlandırma teknolojisidir. GPS, uydulardan gelen sinyalleri alarak, bu sinyallerin zaman farklarını hesaplar ve böylece alıcının tam konum bilgisini ortaya çıkarır (Szot, 2021).

UBlox NEO M8N GPS Modülü ve Mikrodenetleyici Entegrasyonu

UBlox NEO M8N modülü, *UART* protokolü kullanılarak mikrodenetleyiciye bağlanmıştır. Bu seri haberleşme protokolü sayesinde, GPS modülünden alınan NMEA* (National Marine Electronics Association) formatındaki konum verileri mikrodenetleyiciye iletilmiştir. Mikrodenetleyici, bu verileri *lwgps* kütüphanesi ile işleyerek aracın konumunu analiz etmiş ve yönlendirme algoritmalarında kullanmıştır.

Projede, aracın yönünü belirlemek ve rotadaki sapmaları düzeltmek amacıyla GPS verileri kullanılarak *yaw hesaplama* yapılmıştır. Yaw açısı, aracın yatay düzlemdeki (dünya üzerindeki) yönelimini ifade eden bir açıdır. GPS verileri, aracın enlem, boylam ve zaman bazlı konum ölçümlerini sunarak, bu hareketlerin dinamik olarak analiz edilmesine olanak tanımaktadır (controllerstech, 2022).

Hesaplama sürecinde, GPS verilerinden elde edilen ardışık konum bilgileri kullanılarak aracın geçtiği mesafe ve yönelim değişiklikleri belirlenmiştir. Bu sayede, aracın belirli bir andaki gerçek konumu ile hedeflenen rota arasındaki fark hesaplanmış ve buna bağlı olarak yaw açısı elde edilmiştir. Özellikle, aracın yön değiştirdiği veya sapma gösterdiği durumlarda, bu hesaplama yöntemi sayesinde sistem, aracın mevcut yönelimini düzeltici aksiyonlar alarak optimize etmektedir.

NMEA Formatı: GPS modüllerinin konum, hız ve zaman gibi bilgileri standart bir metin formatında (ASCII) ilettiği iletişim protokolüdür. \$ karakteriyle başlar ve örneğin \$GPGGA gibi başlıklarla farklı veri türlerini taşır. Mikrodenetleyici bu verileri ayırıştırarak gerçek zamanlı konum bilgisi elde eder.

NodeMCU ESP8266 Geliştirme Kartının Kullanımı

Projede NodeMCU ESP8266 geliştirme kartı, aracın topladığı verileri internete aktarmak amacıyla kullanılmıştır. Bu modül sayesinde araç, kablosuz olarak internet bağlantısı kurabilmiş ve veri aktarımı gerçekleştirebilmiştir.

İlk aşamada, GPS verilerini ThingSpeak platformuna aktarmak amacıyla bu modül kullanılmıştır. ThingSpeak'e gönderilen GPS verileri platform üzerinde görselleştirilerek analiz edilmiştir. Ancak ThingSpeak'in 15 saniyelik veri gönderim sınırı bulunduğu için, anlık veri aktarımının mümkün olmadığı durumlarda alternatif çözümler değerlendirilmiştir.

Bu nedenle, anlık veri iletimi için HiveMQ Cloud ve Adafruit IO platformları tercih edilmiştir. ESP8266 modülü üzerinden bu platformlara gerçek zamanlı olarak veriler başarıyla aktarılmıştır. Bu platformlar aracılığıyla toplanan veriler daha sonra doğrudan indirilebilmiş ve çeşitli veri analizleri gerçekleştirilmiştir (Kumar, 2023).

Sonuç olarak, NodeMCU ESP8266 modülü, bu projede aracın topladığı bilgileri kablosuz ağ üzerinden internete iletmek ve bu verileri farklı IoT platformlarında kullanmak amacıyla kritik bir rol üstlenmiştir.

STM32CubeIDE (C programlama dili)

Proje kapsamında, STM32CubeIDE entegre geliştirme ortamı kullanılarak, C programlama dili ile yazılımın bütünsel geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. STM32CubeIDE, grafiksel kullanıcı arayüzüne sahip .ioc dosyası üzerinden sistem konfigürasyonlarının yapılması, çevresel birimlerin (peripheral) yapılandırılması ve sonrasında HAL (Hardware Abstraction Layer) kütüphanesi sayesinde timer, GPIO gibi donanım bileşenlerine kolay erişim sağlanmasına olanak tanımaktadır.

Yazılım geliştirme aşamasında PWM sinyallerinin ayarlanması, STM32CubeIDE'nin .ioc dosyasından konfigüre edilerek başlatılmıştır. Bu sayede, ilgili PWM parametreleri (PSC, ARR vb.) grafik arayüz ile tanımlanmış, otomatik olarak oluşturulan yapılandırma kodu ile timer modülleri ve GPIO pinleri hızlıca entegre edilmiştir.

HAL kütüphanesi kullanılarak, timer ve GPIO erişimleri basitleştirilmiş, sistem performansı ve kod okunabilirliği artırılmıştır.

Ayrıca, yazılım mimarisi içinde durum makinesi (state machine) yapıları ve veri akış yönetimi önemli yer tutmuştur. Örneğin, MZ80 kızılötesi sensörün sürekli engel tespiti yapabilmesi için kontrol mekanizması ile kontrol edilmesi engel tespiti olduğunda ise durum makinesi tabanlı algoritmalar yazılımsal olarak tanımlanmış ve verilerin gerçek zamanlı işlenmesi ile ilgili motor kontrol komutlarına yönlendirilmesi sağlanmıştır.

Ayrıca gömülü sistem projelerinde yazılımsal hata ayıklama (debug) süreci, geliştirilen sistemin güvenilir ve kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamak açısından önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle mikrodenetleyici tabanlı sistemlerde, çevresel birimlerle (sensörler, modüller, motor sürücüler vb.) olan haberleşme sürecinde oluşabilecek veri tutarsızlıkları, senkronizasyon problemleri ya da donanımsal hatalar yazılım aracılığıyla tespit edilip giderilmektedir.

STM32CubeIDE, entegre hata ayıklama araçları sayesinde, geliştiricilere kod üzerinde kesme noktaları (breakpoint), değişken takibi (watch), adım adım ilerleme (step into/out/over) gibi çeşitli imkanlar sunar. Bu sayede, çalışmakta olan programın iç yapısı anlık olarak gözlemlenebilir ve sorunlu bölgeler doğrudan tespit edilebilir.

Projede, GPS modülünden alınan verilerin anlamlı konum bilgilerine dönüştürülmesi sırasında STM32CubeIDE'nin sağladığı bu debug olanakları etkin bir biçimde kullanılmıştır.

Sonuç olarak, projedeki tüm gömülü yazılım geliştirme işlemleri, Debug işlemleri, konfigürasyonlar, çevresel birim kontrolleri, sensör veri işleme ve motor sürücü sinyalleri dahil olmak üzere, bütün sistem kontrolü STM32CubeIDE üzerinde gerçekleştirilmiş ve sistemin bileşenleri yazılımsal olarak birbirleri işlemleri, konfigürasyonlar edilmiştir.

Açık Kaynak Kütüphaneler

Projede, GPS verilerinin işlenmesi ve konuma dayalı yönelim hesaplamalarının gerçekleştirilmesi amacıyla iki temel açık kaynak kütüphane kullanılmıştır: Lwgps (v2.2.0) ve GeographicLib-C (v2.1).

Lwgps (MaJerle, 2023), hafif yapısı ve düşük kaynak tüketimi ile mikrodenetleyici tabanlı sistemlerde kullanılmak üzere optimize edilmiş bir GPS ayrıştırma kütüphanesidir. Bu kütüphane, UART üzerinden gelen NMEA formatlı ham GPS verilerini ayrıştırarak, bunları anlamlı enlem, boylam ve yükseklik gibi temel konum parametrelerine dönüştürmektedir. Öte yandan, GeographicLib-C (geographiclib-c, 2023) kütüphanesi, özellikle coğrafi koordinatlar üzerinden yön hesaplamaları yapmak üzere projeye dahil edilmiştir. Bu kütüphane aracılığıyla, elde edilen iki farklı GPS konumu arasındaki azimut (yaw) açısı hesaplanarak, aracın hangi yöne doğru yönelmiş olduğu tespit edilmiştir. Bu hesaplama hem yön tayini hem de rota optimizasyonu açısından sistemin karar mekanizmasında büyük bir rol oynamıştır.

Her iki kütüphane de açık kaynaklı ve taşınabilir olması sayesinde STM32 platformuna kolayca entegre edilmiş, proje kapsamında konumsal doğruluk ve yönsel hesaplamaların hassasiyetle gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

2.4. Verilerin Toplanması

Projede, UBlox NEO M8N GPS modülü kullanılarak aracın konum verilerinin toplanması amacıyla farklı çevre koşullarında testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler, GPS verilerinin çevresel faktörlerden nasıl etkilendiğini ve sistemin en doğru sonuçları hangi koşullarda verdiğini belirlemeye yöneliktir.

Kapalı Alan Testleri:

Kapalı mekanlarda, bina içi yapılar ve engeller nedeniyle uydu sinyallerinin kaybolduğu gözlemlenmiştir. Sabit bir noktada veri alınmaya çalışıldığında, sinyal kalitesi varlığının olmadığı keşfedilmiş; bu durum GPS modülünün yeterli uydu bağlantısı kuramamasından kaynaklanmıştır.

Pencere Kenarı ve Sınırlı Açık Görüşe Sahip Bölgeler:

Pencere kenarı gibi, uydu sinyallerine tam olarak erişilemeyen alanlarda, sinyallerin binalar veya diğer yapılar tarafından yansıtılması sonucu çok yol (multipath) etkisi ortaya çıkmıştır. Bu yansıma, uydu sinyallerinin anlık olarak farklı gecikmelerle alınmasına sebep olarak, konum verilerinde ciddi sapmalar meydana getirmiştir.

Açık Alan Testleri (Statik ve Dinamik):

GPS verilerinin en doğru ve stabil sonuçları, tamamen açık alanlarda gerçekleştirilmiş testlerde elde edilmiştir.

- **Statik Test:** Sabit bir noktada durağan olarak veri toplandığında, alınan konum, enlem, boylam ve yükseklik değerlerinin tutarlı olduğu görülmüştür.
- **Dinamik Test:** Aracın yürüme esnasında farklı noktalardan GPS verileri toplanmış; bu testler sırasında, modülün uydu sinyallerine kesintisiz erişimi sayesinde, elde edilen konum verilerinin gerçek zamanlı olarak güncellendiği ve yönelim (yaw) hesaplamaları için temel oluşturduğu belirlenmiştir.

Bu testler, GPS modülünün açık alanda en verimli çalıştığını ve çevresel engellerin olmadığı koşullarda konum verilerinin en doğru şekilde elde edilebildiğini göstermiştir.

Bu testlerin yürütülmesi sürecinde bazı testlerde, GPS verileri bilgisayar ortamında Python programlama dili kullanılarak seri port (COM port) üzerinden dinlenmiş ve her bir veri satırı bir .txt dosyasına kaydedilmiştir. Bu sayede, verilerin anlamlı olup olmadığının anlaşılması ve istatistiksel olarak değerlendirilebilmesi için offline analiz yapılabilme imkânı olmuştur.

Ayrıca, GPIO/EXTI ile gerçekleştirilen engel tespiti için MZ80 kızılötesi sensörlerden alınan veriler ile birlikte, GPS verilerinin kullanıldığı yön belirleme ve rota optimizasyonu gibi işlemlerin, sistemin genel kontrol mekanizmasını desteklediği gözlemlenmiştir.

2.5 Yön Hesaplama

Projenin yön tayini ve hedefe ilerleme algoritması, zamanlayıcı kesmesi ile çalışan bir durum makinesi (state machine) yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yapı, HAL_TIM_PeriodElapsedCallback fonksiyonu içerisinde uygulanmış olup sistemin tüm yön hesaplama ve navigasyon süreçlerini adım adım kontrol etmektedir.

Yapısal İşleyiş

Zamanlayıcı Kaynağının Doğrulanması

Fonksiyonun başında, yalnızca TIM2 zamanlayıcısından gelen kesmelere yanıt verilmesi sağlanarak sistemin doğruluğu ve kararlılığı artırılmıştır.

Durum Makinesi (State Machine)

Sistem farklı görevleri belirli sıralamayla gerçekleştirmek üzere bir durum makinesi yapısı ile tasarlanmıştır. Yaw_currentState değişkeni, aracın mevcut durumunu temsil eder. Aşağıdaki temel durumlar tanımlanmıştır:

STATE_CALIBRATION_START

Sistem başlangıcında çalıştırılan ilk durumdur. Aracın kısa bir ileri hareket yapması sağlanarak kalibrasyon için konum verisi toplanır.

STATE_MOVE_FORWARD_4

Araç 4 birimlik zaman boyunca ileri hareket eder. Bu süre sonunda hareket durdurulur ve bir sonraki duruma geçilir.

STATE_MOVE_FORWARD_10

Araç bu durumda daha uzun bir süre (yaklaşık 10 birimlik zaman) ileri gider. Hareket sonunda GPS verileri alınarak yön tayini yapılır.

STATE_CALCULATE_HEADING

Bu durumda, önceki ve mevcut GPS koordinatları kullanılarak aracın yönü (car_heading) hesaplanır ve hedef yön güncellenir.

STATE_NAVIGATION_ACTIVE

Yön tayini tamamlandıktan sonra sistem sürekli olarak GPS verilerini okuyarak yönü ve konumu izler. Determine_Direction ve Navigate_To_Waypoint fonksiyonları ile hedefe doğru yönlendirme yapılır. Ayrıca belirli aralıklarla GPS verileri UART üzerinden iletilir.

Zamanlayıcı Sayacı (timerCounter)

Her zamanlayıcı kesmesinde timerCounter değeri artırılarak süre takibi yapılır. Bu sayaç, belirli bir süre geçip geçmediğini kontrol ederek durumlar arasında geçişi tetikler.

GPS Verilerinin Kullanımı

GPS koordinatları olan gps.latitude ve gps.longitude, yön hesaplama ve navigasyon işlevleri için kullanılır. Hareket öncesi ve sonrası konumlar alınarak gerçek yön açısı hesaplanır.

UART ile Veri Gönderimi

Navigasyon aktif durumdayken her 4 birim zamanda bir, araçtan alınan konum ve hız bilgisi UART üzerinden seri olarak dış sistemlere aktarılır.

Bu yapı sayesinde sistem, yön tayini ve hareket planlamasını adım adım gerçekleştirebilmekte, dış müdahaleye gerek kalmadan otonom biçimde hedefe yönlenebilmektedir. Tüm bu süreçler kesme temelli bir yapı üzerinden çalıştığı için sistem, yüksek doğrulukta ve zamana duyarlı çalışmaktadır.

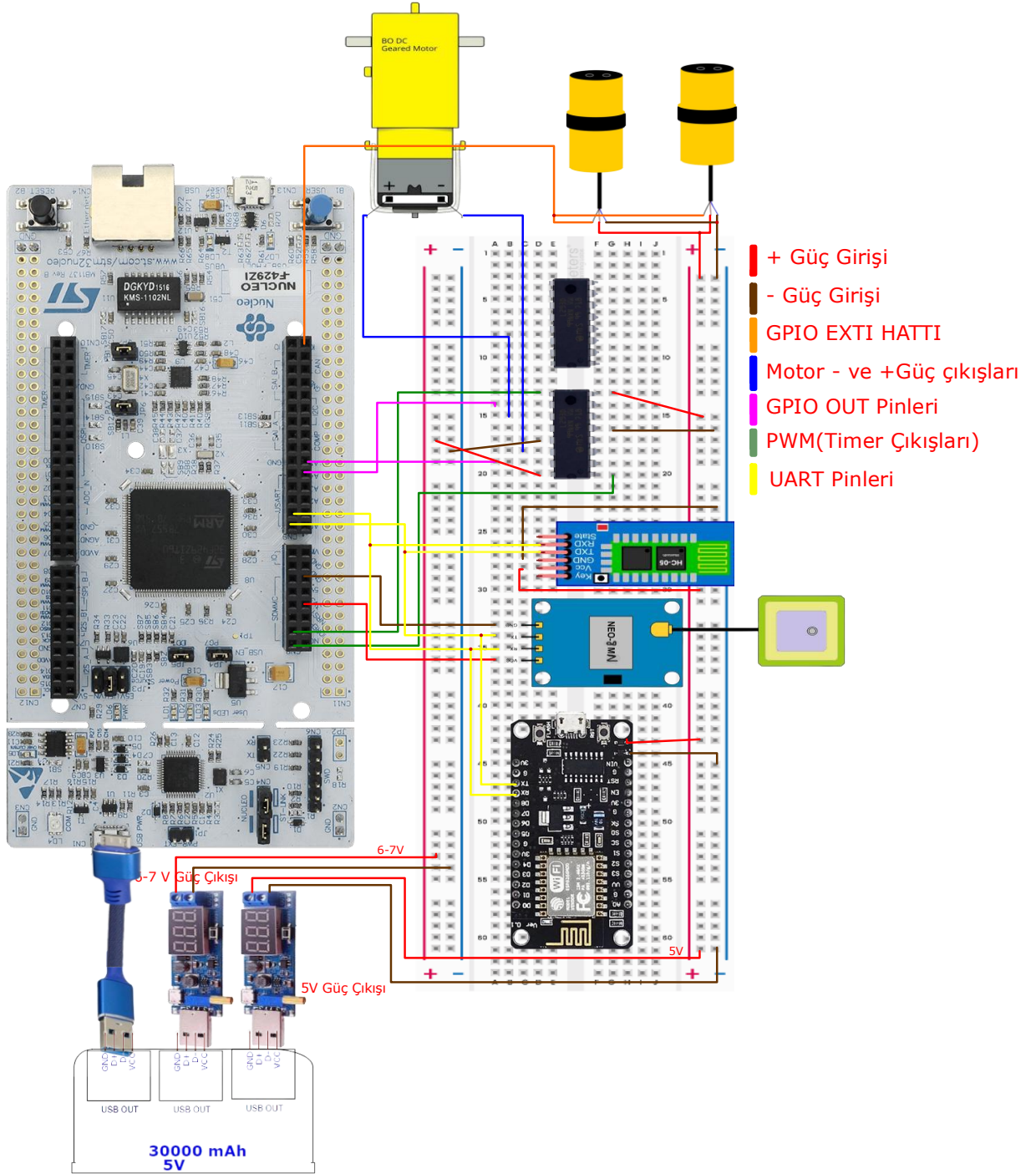
2.6 Verilerin Analizi

GPS modülü aracılığıyla toplanan verilerin doğruluğunu ve kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla hem manuel hem de otomatik analiz yöntemleri uygulanmıştır. Öncelikli olarak, testler sırasında elde edilen enlem ve boylam verileri bireysel olarak harita üzerinde incelenmiştir. Her bir koordinat bilgisi, çevrim içi harita servisleri aracılığıyla tek tek girilerek konumsal doğrulukları manuel şekilde kontrol edilmiştir. Bu işlem, farklı çevresel koşullar altında toplanan verilerin doğruluk seviyelerini karşılaştırmak için referans teşkil etmiştir.

Manuel analiz sürecinin ardından, verilerin daha sistematik bir şekilde analiz edilmesi amacıyla Python dili kullanılarak otomatik bir veri işleme süreci gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar ile mikrodnetleyici arasındaki iletişim, seri port (COM Port) üzerinden sağlanmış; mikrodnetleyiciden alınan anlık GPS verileri doğrudan bir .txt dosyasına kaydedilmiştir. Verilerdeki tutarsızlıklar ve anormal değerler bu yolla tespit edilmiştir.

Daha sonra, oluşturulan bu dosya Python aracılığıyla işlenmiş ve ilgili verilerden elde edilen koordinatlar bir harita üzerine konumlandırılmıştır. Bu sayede, aracın belirli bir rota üzerinde hangi noktalardan geçtiği ve sinyal sapmalarının hangi bölgelerde yoğunlaştığı görsel olarak analiz edilmiştir. Özellikle kapalı mekân, cam kenarı ve açık alan gibi farklı çevresel koşullar altında toplanan verilerin birbirinden nasıl farklılaştığı bu harita tabanlı analiz ile daha net bir şekilde ortaya konmuştur.

Sonuç olarak, verilerin analiz süreci sayesinde GPS modülünün çevresel faktörlere karşı hassasiyeti, sinyal kalitesi ile doğru orantılı olarak değerlendirilmiş; sistemin kararlılığına ve doğruluğuna yönelik önemli çıkarımlar elde edilmiştir.



Şekil 1- Sistem Mimarisi

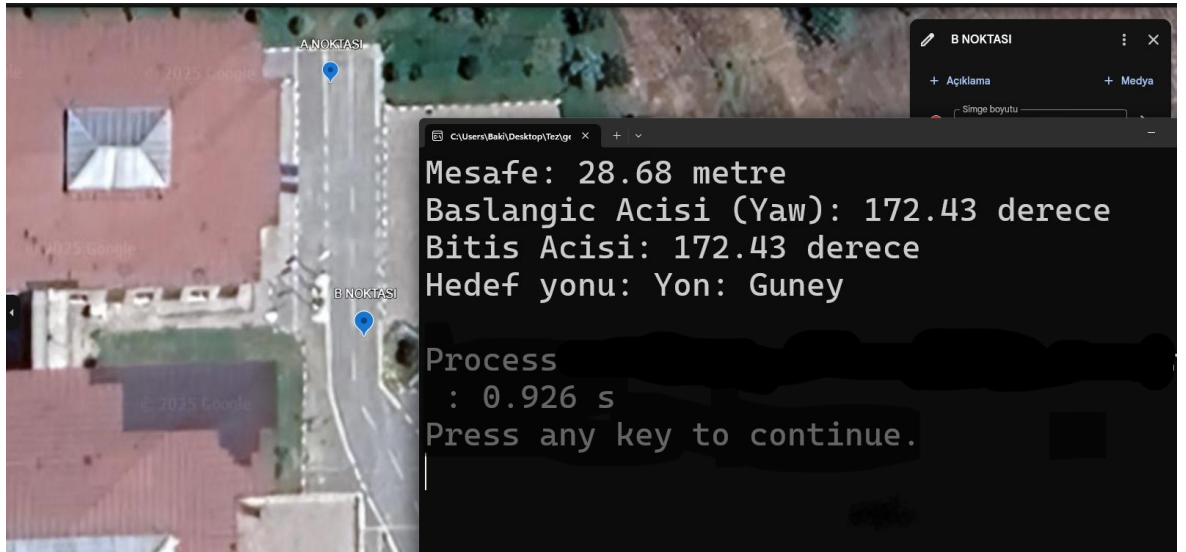
BÖLÜM III: BULGULAR

Genel Sistem Başarımı

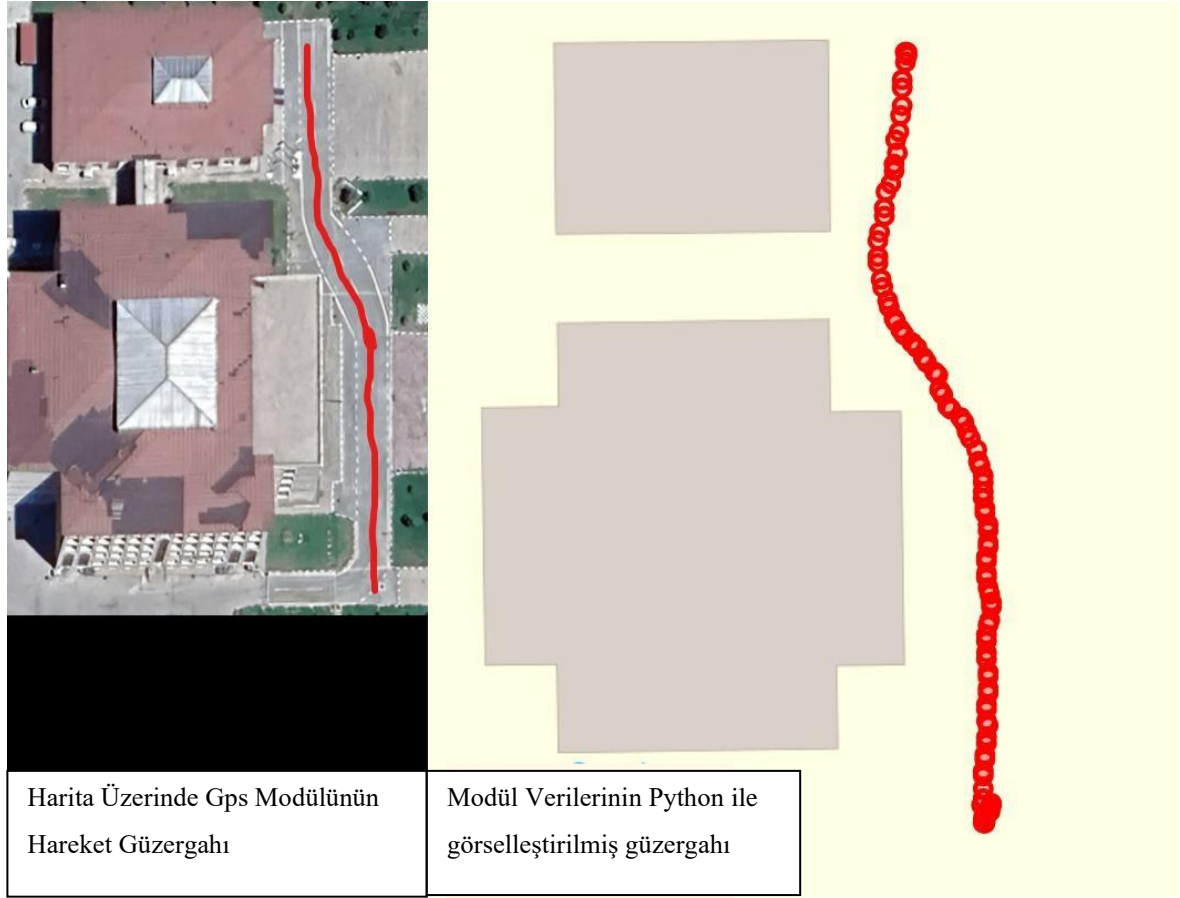
Sistem performansı, yön tayini doğruluğu, engel tespiti başarısı ve genel tepki süresi olmak üzere üç temel başlık altında değerlendirilmiştir.

Yön Tayini Doğruluğu:

Aracın açık alandaki testlerinde, GPS tabanlı yön tayini fonksiyonları denenmiştir. Yürüyüş senaryolarında alınan GPS verileri, aracın ilerleme yönünü coğrafi olarak doğru bir biçimde temsil etmiştir. Konum verileri güzergâh üzerinde tutarlı bir şekilde seyretmiş, sapmalar ise kabul edilebilir değer olarak ölçülmüştür. Bu da sistemin yön tayini açısından yeterli doğrulukta çalıştığını göstermektedir. GPS verileri, hedefe ulaşım doğrultusunda yol takibi için kullanılabilir düzeyde bir hassasiyet sunmuştur.



Şekil 2- Araç Hareketine Ait İki GPS Noktası Arasındaki Coğrafi Yön ve Mesafe



Şekil 3- Planlanan Güzergâh ile GPS Verilerine Göre Yolun Karşılaştırılması

Engel Tespiti Başarısı:

Araç, önüne engel çıktığında, bu engeli %80'in üzerinde bir ihtimalle algılayarak ilgili kaçınma mekanizmalarını devreye sokmuştur. Yapılan testlerde engel algılama fonksiyonlarının çoğunlukla doğru çalıştığı, aracın karşılaştığı engellere tepki vererek yön değiştirme veya durma davranışı sergilediği gözlemlenmiştir. Bu durum, engel tespiti için kullanılan sensörlerin ve yazılım algoritmalarının çoğunlukla güvenilir çalıştığını göstermektedir.

Genel Başarı Oranı:

Aracın tüm senaryoları kapsayan sistematik bir genel test süreci henüz tamamlanamamıştır. Bu nedenle, genel sistem başarımla ilgili kesin bir yüzdesel oran verilememektedir. Ancak yön tayini ve engel tespiti gibi temel işlevlerin bağımsız olarak test edilmesi sonucunda, sistemin genel olarak doğru çalıştığı ve hedeflenen

davranışlara yakın sonuçlar verdiği söylenebilir. Geniş kapsamlı testlerin tamamlanmasıyla birlikte daha net başarı metrikleri elde edilecektir.

GPS Testlerinden Elde Edilen Bulgular

Sistem doğruluğunu değerlendirmek amacıyla GPS modülü farklı çevresel koşullarda test edilmiştir. Bu testler kapalı alan, pencere kenarı ve açık alan olmak üzere üç farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. Her bir ortamda cihaz sabit tutulmuş ve belirli bir süre boyunca konum verileri toplanmıştır. Elde edilen GPS koordinatları, doğruluk ve kararlılık açısından değerlendirilmiş, konum sapmaları analiz edilmiştir.

Kapalı Alan Testleri: GPS modülü, kapalı alan içerisinde test edildiğinde, sinyal alımında bir veri gözlemlenememiştir. Koordinatlar olmayıp, konum verileri bilgilerinde enlem ve boylam bilgileri tespit edilememiştir. Bu durum, yapısal engellerin GPS sinyallerini büyük ölçüde zayıflattığını veya sinyalleri kestiğini göstermektedir.

Pencere Kenarı Testleri: Pencere kenarına yerleştirilen sistemde, kapalı alana kıyasla sinyal alımı daha stabil hale gelmiştir. Ancak hâlâ çevresel yapıların etkisiyle koordinatlar arasında büyük miktarlarda dalgalanma gözlemlenmiştir. Ortalama sapma değeri de yüksektir. Konum tespiti açısından sınırlı bir doğruluk seviyesi sunmuştur.

GPS Koordinatlarının Harita Üzerindeki Dağılımı
Python kullanılarak oluşturulan bu görselde, her ortam için elde edilen GPS noktalarının harita üzerindeki dağılımı sunulmuştur. Güzergâh çizgisiyle karşılaştırıldığında, açık alanda elde edilen verilerin yüksek uyumluluk gösterdiği açıkça görülmektedir. Kapalı alan verileri ise geniş bir saçılma aralığına sahiptir.



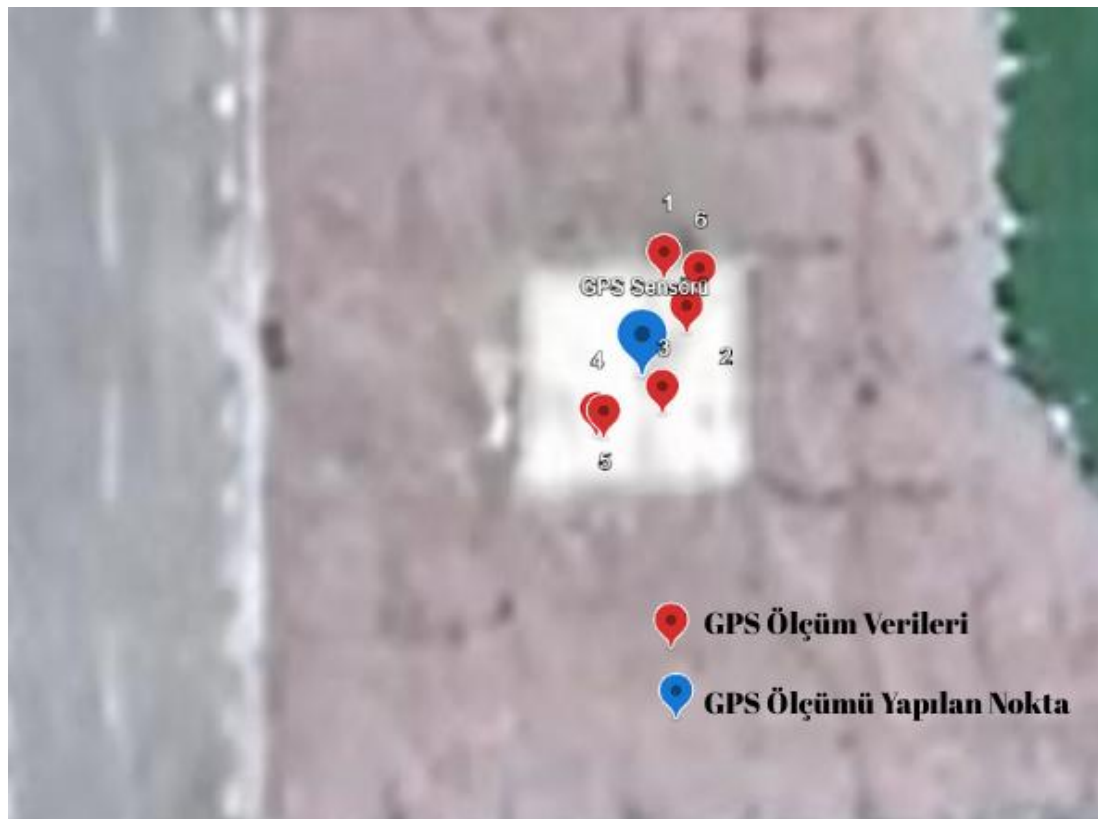
Şekil 4- İç Mekan Pencere Kenarı GPS Ölçüm Değerleri ve sapmaları

GPS Koordinatlarının Harita Üzerindeki Dağılımı

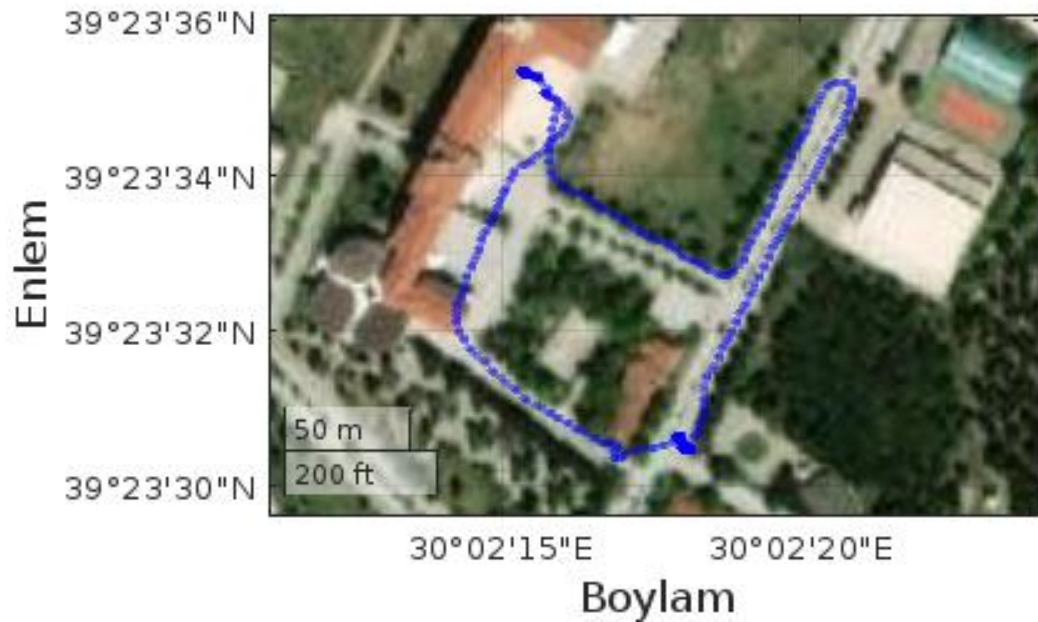
Python kullanılarak oluşturulan bu görselde, her ortam için elde edilen GPS noktalarının harita üzerindeki dağılımı sunulmuştur. Güzergâh çizgisiyle karşılaştırıldığında, açık alanda elde edilen verilerin yüksek uyumluluk gösterdiği açıkça görülmektedir. Kapalı alan verileri ise geniş bir saçılma aralığına sahiptir.

Açık Alan Testleri: Açık alanda gerçekleştirilen testlerde ise GPS modülü en yüksek doğrulukta veri sağlamıştır. Konum koordinatları arasında sapma oldukça düşüktür ve cihaz sabitken dahi elde edilen veriler oldukça tutarlıdır. Ayrıca araç hareket halindeyken elde edilen GPS izleri, önceden harita üzerinde çizilen güzergâh ile büyük oranda uyum göstermiştir.

Bu testlerin karşılaştırmalı sonuçları hem grafiksel hem de sayısal olarak sunulmuştur. Harita üzerinde elde edilen GPS noktalarının dağılımı, ortam koşullarına bağlı olarak değişen doğruluk seviyelerini görsel olarak ortaya koymaktadır. Aynı zamanda farklı test senaryolarında gözlemlenen ortalama sapma miktarları tablo hâlinde verilmiştir.



Şekil 5- Açık Alanda GPS Ölçüm Verileri



Şekil 6- Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Germiyan Kampüsünde Yürüme İle Toplanan GPS Verilerinin Görselleştirilmesi



Şekil 7- 8 Hedefli Yön Güzergahı ve Aracın Hedeflere Yaklaşma Uzaklıkları



Şekil 8- 3 Hedefli Yön Güzergahı ve Aracın Hedeflere Yaklaşma Uzaklıkları

BÖLÜM IV: SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç

STM32 tabanlı geliştirilen GPS destekli araç sistemi, temel fonksiyonlar açısından yapılan testler doğrultusunda işlevselliğini başarıyla ortaya koymuştur. Sistem, düşük maliyetli donanım bileşenlerine rağmen yön tayini, engel algılama ve motor kontrolü gibi ana görevleri yerine getirme konusunda yeterli performans göstermiştir.

Yön Tayini: Açık alanlarda gerçekleştirilen testlerde, araç üzerindeki GPS modülü aracılığıyla elde edilen konum verileri, aracın yön tayini fonksiyonlarının istenilen doğrulukta çalıştığını göstermiştir. Güzergâh boyunca alınan koordinatlar tutarlı bir şekilde ilerleme yönünü yansıtmış, hedef konuma ulaşımında ± 2.5 -5 metre gibi kabul edilebilir bir sapma aralığı gözlemlenmiştir. Böylece, GPS verilerinin gerçek zamanlı yön belirleme ve rota takibi için güvenilir olduğu doğrulanmıştır.

Engel Algılama: Araç üzerine yerleştirilen MZ80 kızılötesi mesafe sensörleri ile yapılan testlerde, sistemin çevresel engelleri %80'in üzerinde bir başarı oranıyla algıladığı görülmüştür. Araç, algılanan engel doğrultusunda uygun kaçınma manevralarını gerçekleştirmiş; engel algılama algoritmaları beklenen şekilde devreye girmiştir. Bu durum, sistemin temel güvenlik fonksiyonlarının aktif ve etkili şekilde çalıştığını ortaya koymaktadır.

Konum ve Yönelim Hesaplamaları: Python programlama diliyle işlenen GPS verileri aracılığıyla, konumlar arası mesafeler hesaplanmıştır. Elde edilen bu analizler, sistemin hareket doğruluğunu sayısal olarak da ortaya koymakta; güzergâh üzerindeki yön değişikliklerinin başarılı şekilde izlendiğini göstermektedir. Konum noktaları arasındaki yönelim açıları, sistemin coğrafi yön tayininde ne derece tutarlı çalıştığını ortaya koyan önemli bir göstergedir.

Donanım ve Enerji Verimliliği: Kullanılan donanım bileşenleri düşük maliyetli, hafif ve kolay taşınabilir niteliktedir. STM32 mikrodenetleyici, GPS modülü, mesafe sensörleri ve motor sürücüler gibi temel bileşenler sınırlı enerjiyle çalışmakta ve

taşınabilir güç kaynaklarıyla uzun süreli kullanım imkânı sunmaktadır. Bu yönüyle sistem hem enerji verimliliği hem de taşınabilirlik açısından olumlu sonuçlar vermiştir.

4.2. Tartışma

Bu çalışma kapsamında geliştirilen STM32 tabanlı, GPS destekli araç sistemi; yön tayini, engel algılama ve motor kontrolü gibi temel görevleri başarıyla yerine getirmiştir. Elde edilen bulgular, sistemin düşük maliyetli donanım bileşenleriyle işlevsel bir şekilde çalışabileceğini göstermektedir. Bu durum hem akademik hem de endüstriyel prototipleme süreçleri için önemli bir alternatif oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Düşük Maliyet, Yüksek Fonksiyonellik:

Sistemin, piyasada bulunan otonom araç sistemlerine kıyasla çok daha düşük bütçelerle üretilmiş olması dikkat çekicidir. Özellikle STM32 mikrodenetleyici tabanlı yapısı, açık kaynak yazılımların entegrasyonu ve standart donanım birimlerinin kullanılması sayesinde, araştırma ve geliştirme amaçlı kullanılabilecek fonksiyonel bir prototip oluşturulmuştur. Bu, literatürde sıkça vurgulanan “düşük maliyetli otonom sistem” ihtiyacına doğrudan bir yanıt teşkil etmektedir.

GPS Tabanlı Yön Tayini ve Sınırlılıklar:

Yön tayini için kullanılan standart GPS modülü, açık alan koşullarında tatmin edici bir performans sergilemiştir. Araç, hedef doğrultusunda yönelmiş ve GPS verileri yardımıyla rota takibi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Ancak kapalı alanlar veya yarı açık çevrelerde (örneğin bina çevresi, ağaçlık alanlar) sinyal zayıflaması veya yansımalarından kaynaklanan sapmalar gözlemlenmiştir. Bu durum, literatürde sıkça dile getirilen GPS sınırlamalarıyla örtüşmekte; bu tür ortamlar için **RTK (Real-Time Kinematic)** gibi daha hassas konumlandırma tekniklerinin entegrasyonunun gerekliliğin ortaya koymaktadır.

Donanım Uyumu ve Ölçeklenebilirlik:

STM32'nin düşük güç tüketimi, çok sayıda çevresel birimi destekleyebilmesi ve gerçek zamanlı işlem kabiliyeti, sistemi esnek ve ölçeklenebilir kılmıştır. Literatürde yer alan benzer projelerle kıyaslandığında, sistemin farklı sensörlerle genişletilebilmesi (örneğin pusula, ivmeölçer, jiroskop gibi modüllerle) mümkün hale gelmiş, böylece ileride daha gelişmiş sürücüsüz sistemler için temel bir yapı sunulmuştur.

Engel Tespiti ve Gelişim Alanları:

Engel algılama konusunda MZ80 kızılötesi sensörlerin kullanımı, belirli düzeyde başarı sağlamıştır. Başarım yazılım ve donanımın başarılı bir şekilde entegre edildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, dinamik ve karmaşık çevrelerde (örneğin hareketli cisimlerin bulunduğu alanlarda) bu sensörlerin sınırlı kalabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Literatürde yaygınlaşan LIDAR, stereo kamera veya ultrasonik radar gibi daha gelişmiş algılayıcıların sisteme entegrasyonu, gelecekteki çalışmalarda önerilmektedir (Wang X. S., 2019).

Kontrol Mekanizması ve Haberleşme:

Sistem, kısa mesafeli kontrol işlemlerinde Bluetooth modülü ile başarılı bir iletişim sağlamıştır. Kullanıcı komutları, gecikme olmadan araca iletilmiş ve hareket stratejileri uygulanmıştır. Ancak bu yöntem, yalnızca yakın mesafe senaryolarında geçerli olup; daha geniş alanlara yayılacak uygulamalarda sınırlı kalmaktadır. Bu noktada, Wi-Fi, LoRa ya da GSM tabanlı haberleşme altyapılarının eklenmesi, sistemin uzaktan kontrol ve veri aktarım kabiliyetini ciddi şekilde artırabilir. Özellikle IoT tabanlı akıllı araç uygulamaları düşünüldüğünde, bu tür teknolojilerin entegrasyonu kaçınılmaz hale gelmektedir.

4.3.Genel Sonuç

Bu çalışma kapsamında geliştirilen STM32 tabanlı, GPS destekli otonom araç sistemi; yön tayini, engel algılama, motor kontrolü ve kablosuz haberleşme gibi temel işlevleri başarıyla yerine getirmiştir. Kullanılan düşük maliyetli donanım bileşenleri ve açık kaynaklı yazılım altyapısı sayesinde, sistem hem ekonomik hem de işlevsel bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Açık alan testlerinde elde edilen GPS verileri, aracın yön tayininde $\pm 2.5-5$ metre aralığında kabul edilebilir bir doğruluk sunmuş; konum ve yönelim hesaplamaları Python ile desteklenmiştir. Engel algılama sürecinde kullanılan MZ80 kızılötesi sensörler, çevresel engelleri yüksek başarı oranıyla tespit ederek güvenli manevraların gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Kablosuz haberleşme kapsamında, Bluetooth modülü kısa mesafeli kontrol işlemlerinde etkili olurken; Thingspeak, HiveMQ Cloud ve Adafruit IO gibi IoT platformları üzerinden gerçek zamanlı veri aktarımı gerçekleştirilmiş, bu sayede sistemin izlenebilirliği ve veri analizi olanakları artırılmıştır. Tüm bu bulgular doğrultusunda, geliştirilen sistem; düşük maliyetli, modüler ve ölçeklenebilir yapısıyla akademik araştırmalarda ve ileri seviye otonom sistem geliştirme çalışmalarında kullanılabilecek nitelikte işlevsel bir prototip olarak değerlendirilebilir.

Kaynakça

1. Abdrakhmanov, V. K. ((2021, September).). Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology. In 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering . *IEEE*, s. (pp. 234-238).
2. abu, K. M. (2024). Landmine Detection Robotic Vehicle with GPS Positioning Using STM32 Check for updates. In *Advances in Microelectronics, Embedded Systems and IoT: Proceedings of 8th International Conference on Microelectronics, Electromagnetics and Telecommunications ICMEET 2023 Springer Nature.*, s. Vol. 1156, p. 401.
3. Albilani, M. &. ((2022, October).). Localization of autonomous vehicle with low cost sensors. In *2022 IEEE 19th International Conference on Mobile Ad Hoc And Smart Systems (MASS) (pp. 339-345).IEEE.*, s. pp. 339-345.
4. Baumann, D., Mager, F., Wetzker, U., Thiele, L., Zimmerling, M., & Trimpe, S. (2021). Wireless control for smart manufacturing: Recent approaches and open challenges. *Proceedings of the IEEE*, s. 441–467.
5. controllerstech. (2021, 7 11). *controllerstech*. <https://controllerstech.com/pwm-in-stm32/> adresinden alındı
6. controllerstech. (2022, 3 7). <https://controllerstech.com/gps-neo-6m-with-stm32/> adresinden alındı
7. Famiglietti, N. A. (2021). A test on the potential of a low cost unmanned aerial vehicle RTK/PPK solution for precision positioning. . s. 21(11), 3882.
8. geographiclib-c. (2023, Jan 4). *github*. [github: https://github.com/geographiclib/geographiclib-c](https://github.com/geographiclib/geographiclib-c) adresinden alındı
9. Government., U. ((n.d.).). *GPS Accuracy*. (GPS.gov.) 04 7, 2025 tarihinde <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/> adresinden alındı

10. Kumar, N. R. (2023, December). Iot-Based Smart Dam System using STM32F103C8T6 ARM CORTEX and ESP8266. *In 2023 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, s. pp. 1-7.
11. Lu, W. Z. (2022, August). A kind of PWM DC motor speed regulation system based on STM32 with fuzzy-PID dual closed-loop control. *In International Conference on Intelligent Computing*, s. pp. 106-113.
12. MaJerle. (2023, 10 28). *github*. github: <https://github.com/MaJerle/lwgps> adresinden alındı
13. Marmo, S. (2021). Torque estimation in closed-loop position control with DC motors (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).
14. Pradeepraja, B. R. (2024, 03). Smart Forest Rover: Integrating Sensors, Cameras, and GPS for Environmental Monitoring. *2024 Third International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)*, s. pp. 1-5.
15. Pradeepraja, B. R. (2024, March). Smart Forest Rover: Integrating Sensors, Cameras, and GPS for Environmental Monitoring. *In 2024 Third International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)*, s. pp. 1-5.
16. Projects, E. (2021, 8 4). *engineersgarage*. engineersgarage: <https://www.engineersgarage.com/dc-motor-control-withstm32-microcontroller/> adresinden alındı
17. Qi, Z. W. (2022). Learning-based path planning and predictive control for autonomous vehicles with low-cost positioning. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, s. 8(2), 1093-1104.

18. Robokit. (2020, 12 17). Arduino Dersleri #25 MZ80 Kızılötesi Sensör Uygulaması (Cisim Algılama). <https://www.youtube.com/watch?v=jQIltItPQCU> adresinden alındı
19. Szot, T. S. (2021). Comparative analysis of positioning accuracy of Garmin Forerunner wearable GNSS receivers in dynamic testing. *Measurement*, s. 183.
20. Wang, A. (2021). Bluetooth wireless temperature and humidity detection system based on STM32. *In E3S Web of Conferences EDP Sciences.*, s. Vol. 284, p. 04006.
21. Wang, X. S. (2019). An early warning system for curved road based on ov7670 image acquisition and stm32.
22. Zhang, X. (2023, April). Design and implementation of fuzzy PID DC motor control system based on STM32. *In 2023 IEEE International Conference on Control, Electronics and Computer Technology (ICCECT)*, s. pp. 1129-1131.