



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 30.08.2023
Kabul Tarihi : 31.10.2023

Received Date : 30.08.2023
Accepted Date : 31.10.2023

STM32F407 VE NODEMCU ESP8266 KARTLARI KULLANARAK KABLOSUZ ÇOK YÖNLÜ KONTROLLÜ ROBOTİK ARAÇ SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

DEVELOPMENT OF A WIRELESS MULTI WAY CONTROLLED ROBOTIC VEHICLE SYSTEM USING STM32F407 AND NODEMCU ESP8266 BOARDS

Muhammed Fatih ACUN¹ (ORCID: 0009-0004-2118-6868)

Metehan DALDAL¹ (ORCID: 0009-0004-5277-104X)

Kemal AVCI^{1*} (ORCID: 0000-0001-5040-3594)

¹ İzmir Demokrasi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İzmir, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Kemal AVCI, kemal.avci@idu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma, kablosuz uzaktan çok yönlü olarak kontrol edilebilen üç tekerlekli bir robotik aracın gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Sistem, Türkçe sesli komutlar ve dokunmatik butonlar kullanarak, bilgisayarlar ve mobil akıllı telefonlar aracılığıyla hem internetsiz hem de internetli olarak kontrol edilebilen bir yapı sunmaktadır. STM32F407 tabanlı ilk çalışmada, Bluetooth üzerinden bilgisayar tabanlı olarak butonlu ve sesli komutlarla robotik aracın kontrolü yapılmış, bu doğrultuda Tkinter tabanlı bir kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Sesli komutların internetsiz olarak algılanabilmesi için, öncelikle 5 Türkçe komutun bilgisayar ortamında doğru tanınması için Mel-Frekans Kepstral Katsayıları (MFCC) öznitelik çıkarma işleminde ve Dinamik Zaman Bükmesi (DTW) yöntemi de eşleştirme ve karar verme işleminde kullanılmıştır. 15 katılımcıdan 5 sesli komut için örnekler alınmış ve kullanılan yöntem test edilmiştir. Sonuçlar 5 sesli komutun %100 doğrulukla tanındığını göstermiştir. Daha sonra STM32F407 tabanlı akıllı telefon ve Bluetooth temelli kontrol çalışması ele alınmış ve sesli komutlar için Google asistan tabanlı çalışan bir mobil arayüz tasarlanmıştır. Üçüncü ve dördüncü çalışmalar ise NodeMCU kartı kullanarak sırasıyla Bluetooth ve Wi-Fi bağlantılar üzerinden aracın kontrollerini içermektedir. Nesnelerin interneti temelli kontrol için Arduino IoT Cloud tabanlı bir arayüz geliştirilmiştir. 10 katılımcıyla yapılan gerçek zamanlı çalışmalar, STM32F407 ve NodeMCU kartları tabanlı tüm kontrol yöntemlerinin başarılı bir biçimde çalıştığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Robotik araç kontrolü, ses komut tanıma, dinamik zaman bükmesi, STM32F407, nodeMCU

ABSTRACT

This study aims to realize a wireless remotely multi way controllable three-wheeled robotic vehicle. The system provides a structure that can be controlled both without and with internet via computers and mobile smartphones using Turkish voice commands and touch buttons. In the first study based on STM32F407, the robotic vehicle was controlled by computer-based button and voice commands over Bluetooth, and a Tkinter-based user interface was created accordingly. To detect voice commands without internet, firstly, Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) were used in feature extraction and Dynamic Time Warping (DTW) method was used in matching and decision-making process for the correct recognition of 5 Turkish commands in computer environment. Samples for 5 voice commands were taken from 15 participants and the method used was tested. The results showed that 5 voice commands were recognized with 100% accuracy. Then, STM32F407-based smartphone and Bluetooth-based control work was discussed, and a Google assistant-based mobile interface was designed for voice commands. The third and fourth studies include the controls of the vehicle over Bluetooth and Wi-Fi connections, respectively, using the NodeMCU board. An Arduino IoT Cloud-based interface was developed for IoT-based control. Real-time studies with 10 participants showed that all control methods based on STM32F407 and NodeMCU boards work successfully.

Keywords: Robotic vehicle control, voice command recognition, dynamic time warping, STM32F407, nodeMCU

ToCite: ACUN, M. F., DALDAL, M., & AVCI, K. (2023). STM32F407 VE NODEMCU ESP8266 KARTLARI KULLANARAK KABLOSUZ ÇOK YÖNLÜ KONTROLLÜ ROBOTİK ARAÇ SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 1030-1049.

GİRİŞ

Bir dizi mekanik, elektronik ve yazılım bileşenlerinden oluşan robot araçlar, belirli görevleri yerine getirmek üzere tasarlanmış otomatik cihazlardır. Uzaktan kablosuz kontrol edilebilme özelliği, robot araçların tehlikeli ortamlarda kullanım, araştırma ve keşif, kurtarma operasyonları, güvenlik ve savunma, uzay araştırmaları, tıp ve sağlık gibi birçok farklı alan ve sektörde önemli roller üstlenebilmelerine olanak sağlamaktadır.

Robot araçların kablosuz kontrol edilmelerinde genellikle Bluetooth, RF ve Wi-Fi kablosuz iletişim teknolojileri kullanılmaktadır. Kontrol işlemleri ise düğmeler, kollar, joystickler gibi fiziksel arayüzler, dokunmatik butonlar, konuşma sesi, beyin dalgaları, göz izleme veya kas kullanılarak yapılmaya çalışılmaktadır. Bilgisayar veya mobil akıllı telefon aracılığıyla yapılan kontrol işlemlerinde, grafiksel kullanıcı arayüzlerde oluşturulan dokunmatik butonlarla kontrol veya konuşma sesiyle kontrol en yaygın karşılaşılan robot araç kontrol türleridir. Bu iki kontrol türü arasında uygulama başarımı daha zor olan konuşma sesiyle kontrol işlemlerinde ise belirgin olarak dört tanıma yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar örüntü tanıma, saklı Markov modelleri (Hidden Markov Model – HMM), dinamik zaman bükmesi ve sinir ağları yöntemleridir (Doğan,1999).

Robot araçların uzaktan kablosuz kontrolüyle ilgili çalışmalar incelendiğinde, literatürde bilgisayar ve mobil akıllı telefon tabanlı birçok kontrol türünde çalışmanın yapıldığı görülmüştür. Google Scholar, Scopus, Web of Science, ACM Digital Library ve IEEE xplore bilimsel veri tabanları taranarak elde edilen bu çalışmalar içerisinde ise İngilizce, Türkçe ve Arapça dillerinde sesli komutlarla kontrol üzerine yapılan çalışmaların sayıca daha fazla olduğu gözlemlenmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

Literatürde Türkçe sesli komut kullanarak yapılan uzaktan kontrollü robotik araç çalışmaları şu şekilde özetlenebilir: Edizkan vd., çalışmalarında Ortak Vektör Yaklaşımı (OVY) tabanlı ses komut tanıma sistemi ile gezgin araç kontrolü gerçekleştirmişlerdir (Edizkan vd., 2007). Gezgin araç kontrolünde kişisel bilgisayar, Giriş/Çıkış kartı, RF alıcı/verici ve gezgin araç kullanmışlardır. Gezgin araç, 'ileri', 'geri', 'sağa dön', 'sola dön' ve 'dur' ses komutlarıyla kontrol edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, OVY ile kişiye bağımlı ses komut tanımada yüksek başarımlar elde edilmiş olup gezgin araç kısmıyla ilgili herhangi bir bilgiye çalışmada yer verilmemiştir. Baltacıoğlu, tez çalışmasında bilgisayar üzerinden sesle veya klavye ile kontrol edilebilen, RF haberleşme yöntemi ile kablosuz olarak iletişim kurulabilen ve görüntü aktarımı yapabilen bir robot tasarlayıp, gerçekleştirmiştir (Baltacıoğlu, 2010). Çalışmada ses ile yönlendirme işlemi için Microsoft ses tanıma kütüphanesi kullanılmış ve 5 farklı İngilizce komut seçilmiştir. Robot üzerindeki kontrol işlemleri PIC16F877A mikrodenetleyicisi ile sağlanmıştır. Çelebi tarafından yürütülen tez çalışmasında, bir ses komutu tanıma sistemi kullanılarak gezgin araç kontrolü gerçekleştirilmiştir (Çelebi, 2012). Bu sistemde, öznitelik çıkarmada Mel-Frekansı Kepstrum Katsayıları (Mel Frequency Cepstral Coefficients - MFCC) yöntemi kullanılmış ve eşleştirme ile karar verme aşamalarında Vektör Nicemleme (VN) yaklaşımı benimsenmiştir. Tüm işlemler Matlab yazılım ortamında gerçekleştirilmiş ve gezgin aracın 'ileri git', 'geri git', 'sağa dön', 'sola dön' ve 'dur' gibi komutlarla kontrolü sağlanmıştır. Ses komutları bilgisayar tarafından tanındıktan sonra, elde edilen komut bilgileri radyo frekansları aracılığıyla gezgin araca iletilmiştir. Gürültüsüz ve gürültülü ortamlarda yapılan deneyler sonucunda, sırasıyla %96 ve %68 başarı oranları elde edilmiştir. Gündoğdu ve Çalhan, yatağa bağımlı olan veya tekerlekli sandalyeye bağımlı olup elini kullanamayan engelli bireyler için ses denetimli bir araç tasarlamışlardır (Gündoğdu ve Çalhan, 2013). Tasarlanan aracın 'ileri', 'geriye', 'sağa', 'sola' ve 'dur' ses komutları ile kontrol edilmesi sağlanmıştır. Çalışmada, ses kartını kontrol edebilmek ve ana kontrol ünitesi ile gerekli veri alışverişini sağlayabilmek için iki adet PIC16F628A mikrodenetleyici kullanılmıştır. Çalışmada seslerin tanınmasında kullanılan algoritmalar ve dayandıkları yöntemlerden bahsedilmemiştir. Gündoğdu ve Yücedağ, üzerinde bir robot kol bulunan bir mobil araç tasarımı gerçekleştirmiş ve bu mobil aracın ve robot kolun hem arayüz hem de ses komutları ile kontrol edilmesini sağlamışlardır (Gündoğdu ve Yücedağ, 2013). Ses kontrol için 'ileri', 'geriye', 'sağa', 'sola', 'dur', 'nesneyi al', 'nesneyi bırak' ve 'orta kamera' ses komutları belirlenmiştir. Kablosuz iletişim için ise 433 MHz RF haberleşme alıcı verici modüller kullanılmıştır. Kontrol kartı için PIC16F628A mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Yapılan test sonuçlarından, ses komutları ile kontrol sisteminin, arayüz ile kontrol sistemine göre daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Aras vd., beş farklı sesli yön komutunun ('sağa', 'sola', 'ileri', 'geri' ve 'dur') gerçek zamanlı olarak tanınması işlemi Matlab yazılım ortamında gerçekleştirmişlerdir (Aras vd., 2014). MFCC ve Doğrusal Öngörülü Kodlama (Linear Prediction Coefficients - LPC) katsayıları kullanılarak öznitelikler elde edilmiş ve eğitim verisi oluşturulmuştur. Sonrasında ise k-En Yakın Komşu sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Sonuçlar hatalı algılamaların tamamının 'İleri' ve 'Geri' komutlarının karıştırılmasıyla ortaya çıktığını göstermiştir. Her iki komutta da üç harfin ('eri') benzer olmasının, algılamayı zorlaştırdığı belirtilmiştir. İskender vd., Arduino Mega kartı ve Bluetooth sensör kullanılarak akıllı telefon üzerinden sesli komutlarla kontrol edilebilen bir araç yapmışlardır

(İskender vd., 2017). Sesli komutlar için Google Voice ve VoiceBot uygulaması kullanmışlardır. Çalışmada hangi komutların kullanıldığı belirtilmemiştir.

Bunlar dışında, yerli araştırmacıların Türkçe dışında sesli komutlar kullanarak yaptıkları çalışmalar da bulunmaktadır. Vatansver ve Kuşçu, bir robotu ve onun önünde yer alan kamerayı uzaktan ses komutlarıyla kontrol eden bir menülü kontrol düzeni geliştirmişlerdir (Vatansver ve Kuşçu, 2016). Robot kontrolü için ‘go forward’ (ileri git), ‘back’ (geri), ‘turn left’ (sola dön), ‘turn right’ (sağa dön), ‘stop’ (dur) ve kamera kontrolü için ‘the camera down’ (kamera aşağı), ‘the camera up’ (kamera yukarı) ve ‘the camera middle’ (kamera ortaya) ses komutlarını kullanmışlardır. Ses tanıma için EasyVR modülü, kablosuz haberleşme için Zigbee ve kontrol işlemleri için ise Arduino Uno kartı kullanmışlardır. Selvi vd., akıllı telefonda AMR Voice olarak isimlendirilen Android bir uygulama kullanarak Bluetooth üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı kameralı bir robotik araç geliştirmişlerdir (Selvi vd., 2021). Sesli komut olarak ‘forward’ (ileri), ‘backward’ (geri), ‘left’ (sola), ‘right’ (sağa), ‘stop’ (dur) ve ‘keep watch in all direction’ (her yönü izle) komutları kullanılmıştır.

Yabancı araştırmacılar tarafından İngilizce sesli komut kullanarak yapılan uzaktan kontrollü robotik araç çalışmaları ise şu şekilde özetlenebilir: Rasal, engelli bireylere yönelik sözlü komutlarla veya insan bilgisayar arayüzü ile kontrol edilen mikrodenetleyici tabanlı bir robotik araç sistemi önermiştir (Rasal, 2014). Araçta oturan engelli bir kişi sözlü komutlar vererek aracı kontrol edebilir. Eğer kişi daha fazla kontrol edemiyorsa sözlü komutlar kullanarak veya kullanıcı arayüzü kullanarak doğrudan baz istasyonundan kontrol edilebilir. Sesli komut olarak 7 İngilizce komut kullanılmıştır. Bunlar ‘go forward’ (ileri git), ‘go backward’ (geri git), ‘turn left’ (sola dön), ‘turn right’ (sağa dön), ‘seat belt tightening/loosening’ (emniyet kemerini sıkma/ gevşetme), ‘horn control’ (korna kontrolü) ve ‘stop’ (dur) komutlarıdır. Çalışmada ses tanıma işlemi için öznitelik olarak MFCC ve eşleştirme yöntemi olarak DTW kullanılmıştır. Kannan ve Selvakumar, sesle kontrol edilen servo motor tabanlı yürüyen bir robot tasarlamışlardır (Kannan ve Selvakumar, 2015). Ses algılama için EasyVR modülü, kablosuz haberleşme için Zigbee teknolojisi ve kontrol işlemi için ise ATmega 2560 mikrodenetleyici tabanlı Arduino Mega kartı kullanmışlardır. Çalışma için 7 İngilizce ses komutu seçilmiştir. Bunlar ‘forward’ (ileri), ‘back’ (geri), ‘right’ (sağa), ‘left’ (sola), ‘load’ (yükle), ‘release’ (serbest bırak) ve stop (dur) ses komutlarıdır. Rashid vd., Bluetooth üzerinden akıllı cep telefonu tarafından sesli kontrol edilen bir robot çalışması yapmışlardır (Rashid vd., 2017). Kontrol işlemleri için Arduino Uno kartı kullanılmış olup, sesli komut olarak ‘forward’ (ileri), ‘backward’ (geri), ‘left’ (sola), ‘right’ (sağa) ve ‘autonomous’ (otonom) komutları ele alınmıştır. Burada ‘autonomous’ komutu ile robotun herhangi bir engelle çarpmadan otonom olarak hareket etmesi amaçlanmıştır. Pinjarkar vd., Android özellikli akıllı telefonda Bluetooth üzerinden bir robotu sesli kontrol edebilmek için bir uygulama yazılımı geliştirmişlerdir (Pinjarkar vd., 2017). Kontrol işlemleri için AT89S52 mikrodenetleyicisi, sesli komut olarak ise ‘forward’ (ileri), ‘backward’ (geri), ‘left’ (sola), ‘right’ (sağa) ve ‘stop’ (dur) komutlarını kullanmışlardır. Ses tanıma işlemleri akıllı telefon üzerinden yapılmış ama nasıl yapıldığı çalışmada belirtilmemiştir. Chikhale vd., Android özellikli akıllı telefonda Bluetooth üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç geliştirmişlerdir (Chikhale vd., 2017). Sesli komut olarak ‘forward’ (ileri), ‘backward’ (geri), ‘left’ (sola), ‘right’ (sağa), ‘stop’ (dur), ‘camera’ (kamera - 180 derece döndürmek için), ‘hold’ (tut – robot kolunun nesneyi tutması için) ve ‘drop’ (bırak-robot kolunun nesneyi bırakması için) komutlarını kullanmışlardır. Akıllı telefon üzerinden yapılan ses tanıma işlemlerinin nasıl yapıldığı çalışmada belirtilmemiştir. Harika vd., akıllı telefonda Bluetooth üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen Raspberry Pi Zero tabanlı bir robotik araç geliştirmişlerdir (Harika vd., 2018). Sistemin ses algılama doğruluğu yaklaşık %95 olup, 1-2 saniye sonra robotik sistem ses komutunu icra etmiştir. Sesli komut olarak ‘forward’ (ileri), ‘backward’ (geri), ‘left’ (sola), ‘right’ (sağa), ‘leftspin’ (sola dönme), ‘rightspin’ (sağa dönme) ve ‘stops’ (dur) komutlarını kullanmışlardır. Akıllı telefon üzerinden yapılan ses tanıma işlemlerinin nasıl yapıldığı çalışmada belirtilmemiştir. Ullah vd., el hareketleri, dokunmatik tuş ve ses tanıma kullanarak Arduino Uno tabanlı bir robot arabayı kontrol etmeye çalışmışlardır (Ullah vd., 2019). Elin hareketine ve pozisyonuna göre yapılan el hareketleri ile kontrol işleminde, üzerine Arduino Nano yerleştirilen bir eldiven ve kablosuz iletişim için ise RF verici-alıcı modülleri kullanılmıştır. Dokunmatik tuş ve sesle tanıma ile kontrol işleminde ise, akıllı telefonda bir mobil uygulama kullanılmıştır. Kablosuz iletişim Bluetooth üzerinden sağlanmıştır. Sesli komut olarak ‘forward’ (ileri), ‘backward’ (geri), ‘left’ (sola), ‘right’ (sağa) ve ‘brake’ (fren) komutları kullanılmıştır. Sachdev vd., NodeMCU ESP8266 kartı kullanarak nesnelerin interneti tabanlı bir araç kontrol işlemi geliştirmişlerdir (Sachdev vd., 2020). Bulut sistemi olarak Adafruit kullanılmış, ses komutları ise Google asistan kullanılarak algılanmıştır. Sesli komut olarak ‘go forward’ (ileri git), ‘go backward’ (geri git), ‘go left’ (sola git), ‘go right’ (sağa git) ve ‘shutdown’ (kapat) komutları kullanılmıştır. Saravanan vd., Bluetooth üzerinden Android özellikli akıllı telefonda bir arayüz oluşturarak sesli komutlarla veya dokunmatik butonlarla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç geliştirmişlerdir (Saravanan vd., 2020). Aracı kontrol etmek için Google Play Store’da bulunan ve MIT AI2 Companion olarak bilinen

uygulamayı kullanmışlardır. Sesli komut olarak 'forward' (ileri), 'backward' (geri), 'left' (sola), 'right' (sağa) ve 'stop' (dur) komutları çalışmada kullanılmıştır. Timsina vd., akıllı telefonda Google asistan kullanarak Bluetooth üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Timsina vd., 2020). Çalışmayla ilgili herhangi komut seti ve şekil verilmemiştir. Verma vd., akıllı telefonda AMR-Voice Android uygulaması kullanarak Bluetooth üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Verma vd., 2020). Çalışmayla ilgili ses tanıma başarımları oranı %76 bulunmuştur. Srivastava ve Singh, akıllı telefonda Android bir uygulama kullanarak Bluetooth üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Srivastava ve Singh, 2020). Çalışmayla ilgili herhangi komut seti verilmemiştir. Karthik vd., akıllı telefonda Google konuşma tanıma sistemini kullanarak Firebase bulut sistemi ve Wi-Fi üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen NodeMCU tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Karthik vd., 2020). Sesli komut olarak çalışmada 'slow/fast forward' (yavaş/hızlı ileri), 'slow/fast backward' (yavaş ve hızlı geri), 'slow/sharp left' (yavaş ve keskin sola), 'slow/sharp right' (yavaş ve keskin sağa), zigzag (zıgzak) ve stop (dur) komutları kullanılmıştır. Çalışmada ses tanımayla ilgili herhangi bir başarımları oranı verilmemiştir. Kumar ve Rao, akıllı telefonda Google asistan kullanarak Adafruit IO bulut sistemi ve Wi-Fi üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen ESP32 tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Kumar ve Rao, 2020). Sesli komut olarak sadece 'forward' (ileri) ve 'backward' (geri) komutlarından bahsedilmiştir. Andrew vd., akıllı telefonda Android bir uygulama kullanarak Bluetooth üzerinden 4 İngilizce sesli komutla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Andrew vd., 2021). Kullanılan sesli komutlar şunlardır: 'Move ahead' (ileriye hareketle), 'move backward' (geriye hareketle), 'turn left' (sola dön) ve 'turn right' (sağa dön). Gupta vd., akıllı telefonda Google asistan kullanarak ThingSpeak bulut sistemi ve Wi-Fi üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen ESP32 tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Gupta vd., 2020). Sesli komut olarak 'forward' (ileri), 'in reverse' (geri), 'left' (sola), 'right' (sağa) ve 'stop' (dur) komutları kullanılmıştır. Chakraborty vd., akıllı telefonda AMR Voice olarak isimlendirilen Android bir uygulama kullanarak Bluetooth üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen Arduino Mega tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Chakraborty vd., 2021). Sesli komut olarak 'go forward' (ileri git), 'go back' (geri git), 'go left' (sola git), 'go right' (sağa git) ve 'stop' (dur) komutları kullanılmıştır. Chandelker vd., akıllı telefonda Google konuşma sistemi temelli AMR Voice olarak isimlendirilen Android bir uygulama kullanarak Bluetooth üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Chandelker vd., 2021). Sesli komut olarak 'forward' (ileri), 'back' (geri), 'left' (sola), 'right' (sağa), 'stop' (dur) ve 'rotation' (dönüş) komutlarını kullanmışlardır. Bharani, robotik tekerlek ve kolu akıllı telefonda AMR Voice uygulama yazılımını kullanarak Bluetooth üzerinden sesli komutlarla kontrol eden Arduino Uno tabanlı bir araç gerçekleştirmiş (Bharani, 2021). Sesli komut olarak 'forward' (ileri), 'backward' (geri), 'left' (sola), 'right' (sağa), 'up' (yukarı), 'down' (aşağı), 'open' (aç), 'close' (kapat) ve 'stop' (dur) komutlarını kullanmıştır. Shah, bilgisayar kontrollü Arduino Uno tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmiş (Shah, 2021). Kablosuz haberleşme 433 MHz RF modülleriyle sağlanmıştır. Kontrol işlemleri ses, manuel tuş takımı ve metin komutlarıyla yapılmıştır. Sesli komutlar, windows işletim sistemindeki dahili konuşma tanıma uygulamasıyla %75 doğrulukla yapılmıştır. Kontrol komutları olarak 'forward' (ileri), 'backward' (geri), 'left' (sola), 'right' (sağa) ve 'stop' (dur) kullanılmıştır. Manwani vd., 433 MHz RF modülleriyle bilgisayardan sesli kontrol edilen Arduino Uno tabanlı dört tekerlekli bir robotik araç gerçekleştirmiş (Manwani vd., 2022). Sesli komutlar, Windows işletim sistemindeki dahili konuşma tanıma uygulamasıyla yapılmıştır. Kontrol komutları olarak 'forward' (ileri), 'backward' (geri), 'left' (sola), 'right' (sağa) ve 'stop' (dur) kullanılmıştır. Khawate vd., akıllı telefonda Android bir uygulama kullanarak Bluetooth üzerinden 7 İngilizce sesli komutla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Khawate vd., 2022). Sesli komutlar olarak 'forward' (ileri), 'reverse' (geri), 'turn left' (sola dön), 'turn right' (sağa dön), 'go left' (sola git), 'go right' (sağa git) ve 'stop' (dur) kullanılmıştır. Sissodia vd., akıllı telefonda Android bir uygulama kullanarak Bluetooth üzerinden sesli komutla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Sissodia vd., 2023). Sesli komutlar için Google Voice Search programı kullanılmış olup bu sesli komutlar şunlardır: 'Forward' (İleri), 'backward' (geri), 'left' (sola), 'right' (sağa) ve 'stop' (dur). Pal vd., akıllı telefonda MIT APP Inventor tabanlı Android bir uygulama kullanarak Bluetooth üzerinden sesli komutla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Pal vd., 2023). Sesli komutlar için Google'ın konuşma tanıyıcı modeli kullanılan sistemde 'forward' (ileri), 'backward' (geri), 'left' (sola), 'right' (sağa) ve 'stop' (dur) komutları kullanılmış ve ses tanıma başarımları oranı %90 bulunmuştur. Kuriakose vd., akıllı telefonda AMR-Voice Android uygulaması kullanarak Bluetooth üzerinden sesli komutlarla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Kuriakose vd., 2023). Kontrol komutları olarak 'forward' (ileri), 'backward' (geri), 'left' (sola), 'right' (sağa) ve 'stop' (dur) komutları kullanılmıştır.

Arapça sesli komut kullanarak yapılan uzaktan kontrollü robotik araç çalışmaları ise şu şekilde özetlenebilir: Abed ve Jasim, bir mobil robotun Arapça ses komutlarıyla uzaktan kontrol edilmesi için öznitelik olarak MFCC ve

eşleştirme için DTW tabanlı bir konuşma tanıma sistemi sunmuşlardır (Abed ve Jasim, 2016). Bilgisayarda Matlab yazılım platformunda tanıma işlemleri yapılmış ve kontrol işlemleri için PIC18F45K22 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Sesli konuşma komutları olarak 'ileri', 'geri', 'sağa', 'sola' ve 'dur' kelimelerinin Arapça karşılıkları kullanılmıştır. Kablosuz bağlantı özelliği, kablosuz mikrofon seti ve bilgisayar arasında kullanılmıştır. Bilgisayar ve robot arasında ise RS232 kablolu bağlantı kullanılmıştır. Khan vd., akıllı telefonda MitAppInventor2 ile oluşturulan Android bir uygulama kullanarak Bluetooth üzerinden Arapça ve İngilizce sesli komutlarla kontrol edilen Arduino Uno tabanlı bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Khan vd., 2021). Sesli komut olarak Arapça ve İngilizce 'forward' (ileri), 'backward' (geri), 'left' (sola), 'right' (sağa) ve 'stop' (dur) komutları kullanılmıştır. Mnassri vd., Arapça temelli olarak engellilere yardımcı olması için Raspberry pi kartı tabanlı gerçek zamanlı otomatik ses tanıma sistemi gerçekleştirmişlerdir (Mnassri vd., 2022). Bu çalışmada göreceli spektral-algısal doğrusal tahmin ve ayrık dalgacık dönüşümü yöntemleri; konuşma sinyallerinin tanınması, işlenmesi ve sınıflandırılması için kullanılmıştır. Bu yaklaşım, Destek Vektör Makinesi algoritmasına dayalı ses tanıma sisteminin performansını gürültüsüz bir ortamda %100 ve gürültülü bir ortamda yaklaşık %98'lik bir tanıma oranına ulaştırmıştır. Sesli komut olarak Arapça şu 10 komut kullanılmıştır: 'ileri', 'hızlı ileri', 'hızlan', 'sola', 'sağa', 'dön', 'dur', 'geri', 'hızlı geri' ve 'devam'.

Robotik araç kontrolünde kullanılan yöntemlerin benzerleri, farklı alanlarda da kullanılmaktadır. Çubukçu vd., konuşma tanıma tabanlı uzaktan kontrollü ev otomasyonu sistemi önermişlerdir (Çubukçu vd., 2015). Matlab ortamında ses tanıma işlemleri gerçekleştirmiş olup, öznelik çıkartma yöntemi olarak MFCC ve öznelik eşleştirme yöntemi olarak Dinamik Zaman Bükmesi (Dynamic Time Warping - DTW) kullanmışlardır. Çalışmada 'Işıkları Aç', 'Işıkları Kapat' ve 'Kettle Aç' ses komutları kullanılmıştır. Kablosuz iletişim olarak Zigbee teknolojisi kullanılmıştır. Dutta vd., Arduino Uno tabanlı tekerlekli bir sandalyeyi Bluetooth üzerinden Android özellikli akıllı telefonda sesle kontrol etmek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Dutta vd., 2020). Sesli komut olarak 'move forward' (ileri hareket et), 'move backward' (geri hareket et), 'turn left' (sola dön), 'turn right' (sağa dön) ve 'stop' (dur) komutlarını kullanmışlardır. Ioana ve Vaduva, 9 İngilizce ses komutuyla kontrol edilen dört tekerlekli bir robot köpek gerçekleştirmiştir (Ioana ve Vaduva, 2022). Pinler yeterli olmadığı için çalışmada Arduino Nano ve Arduino Uno kartları birlikte kullanılmıştır. Robotun hareketleri 9 adet servo motor (8 adet bacak ve 1 adet kuyruk için) ve 4 adet DC motor (her tekerlek için bir adet) aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Sesli komutlar, doğrudan Arduino Nano 33 BLE Sense üzerinde çalışan bir model kullanılarak ayrıştırılmıştır. Model, ses kayıtlarından oluşan bir veri kümesinden çıkarılan MFCC özellikleriyle eğitilmiş derin bir sinir ağını temel almıştır. Kullanılan sesli komutlar şunlardır: 'Hello Bobbert' (Merhaba Bobbert), 'forward' (ileri), 'backward' (geri), 'left' (sola), 'right' (sağa), 'stop' (dur), 'sit' (otur), 'down' (aşağı), 'good boy' (iyi çocuk). Siddesh vd., Wi-Fi üzerinden kontrol edilen NodeMCU tabanlı ESP32 Cam kamera modüllü bir robotik araç gerçekleştirmişlerdir (Siddesh vd., 2023). Sistemde sesli komutlar kullanılmamış, kullanılan arayüz ve komutlarla ilgili bir bilgi verilmemiştir.

Yukarıda verilen literatür çalışmaları incelendiğinde, çok yönlü robotik kontrol çalışmalarının çok az sayıda olduğu ve kullanılan kart olarak sınırlı özelliklere sahip Arduino Uno tercih edildiği, Türkçe sesli komutlar ile robotik araç kontrolünde ise genelde PIC mikrodenetleyicilerin ve Arduino temel klasik kartların kullanıldığı, ayrıca İngilizce sesli komutlar için kullanılan MFCC ve DWT yöntemlerinin Türkçe ses komut tanımada birlikte kullanılmadığı görülmektedir. Bu motivasyonla Türkçe sesli komutlar ve kullanıcı arayüzdeki dokunmatik butonlar kullanılarak robotik bir aracın bilgisayar ve mobil akıllı telefonlarla internetsiz ve internetli olarak kontrol edilmesi hedeflenmiştir. Sistemin kontrol işlemlerini gerçekleştirmek üzere bu çalışmada, sesle ilgili yüksek performans uygulamaları için kullanım alanı bulan STM32F407 geliştirme kartı ve nesnelerin interneti projeleri için iyi bilinen NodeMCU geliştirme kartı kullanılmıştır. Türkçe sesli komutlarla robotik araç kontrol çalışmalarında STM32F407 ve NodeMCU geliştirme kartlarının ilk kez kullanımı ve Türkçe sesli komutları algılama ve yönlendirme işlemlerinin çok yönlü yapılması, bu çalışmanın mevcut benzer çalışmalardan farkını ortaya koymaktadır. Makalenin devamı şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci bölüm, çalışmada kullanılan donanımsal ve yazılımsal araçların yanı sıra kullanılan yöntemlere dair genel bilgiler sunmaktadır. Üçüncü bölüm, tasarlanan aracın kontrol süreçlerini ve elde edilen bulguları içermektedir. Son bölüm ise çalışmanın temel sonuçlarını özetlemekte, ayrıca gelecekte yapılabilecek çalışmalara dair öneriler sunmaktadır.

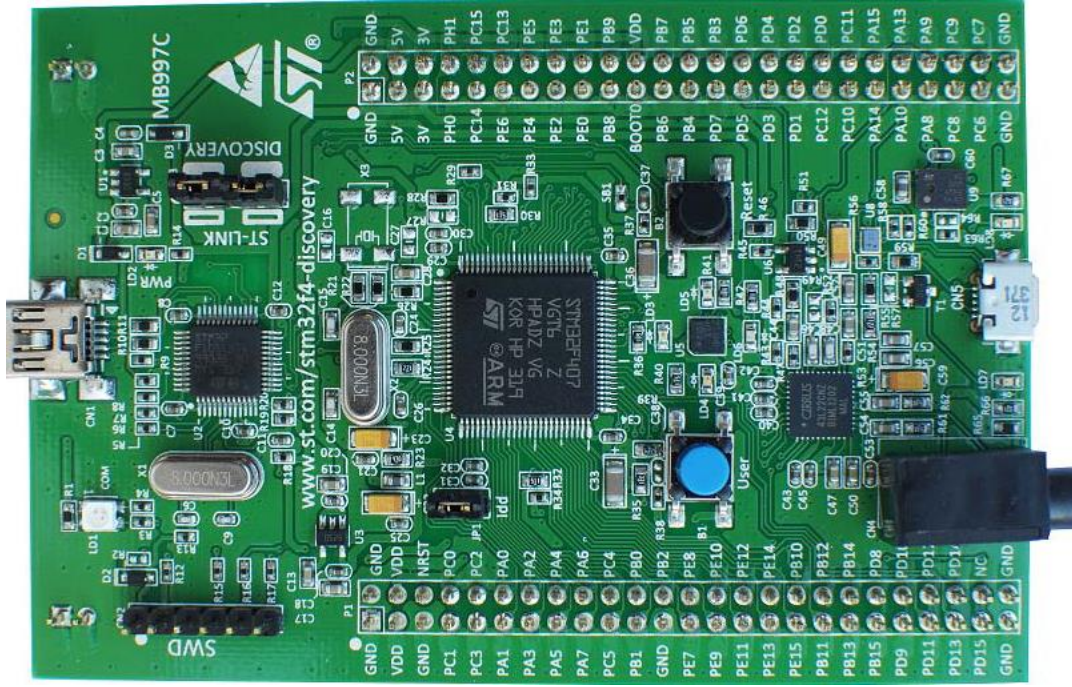
MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, çalışmada kullanılan donanımsal ve yazılımsal araçlar ile MFCC ve DTW yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Donanımsal Araçlar

STM32F407VG Geliştirme Kartı

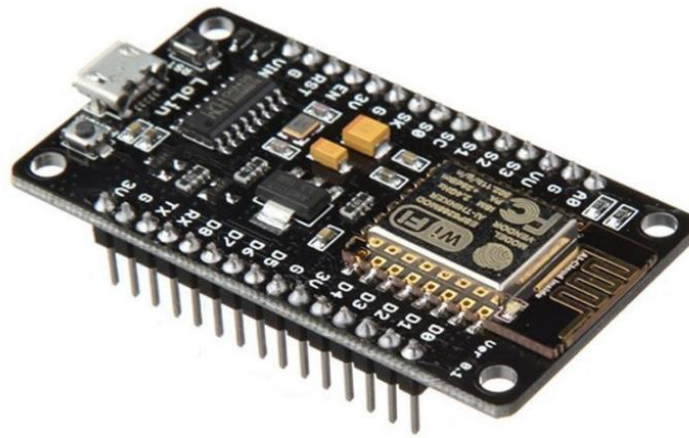
STM32F407VG geliştirme kartı (Şekil 1), 168 MHz'e kadar frekansta çalışan yüksek performanslı Arm® Cortex®-M4 32 bit RISC çekirdeğini temel alan STMicroelectronics firmasına ait bir geliştirme kartıdır. Dahili mikrofonu olması ve güçlü bir mimariye sahip olmasından dolayı ses işleme veya konuşma tanıma işlemlerinde oldukça yaygın kullanılmaktadır. Kartla ilgili daha fazla ayrıntı için ürün resmi sitesinden bakılabilir (STM32F407VG, 2023).



Şekil 1. STM32F407VG Geliştirme Kartı

NodeMCU v3 Geliştirme Kartı

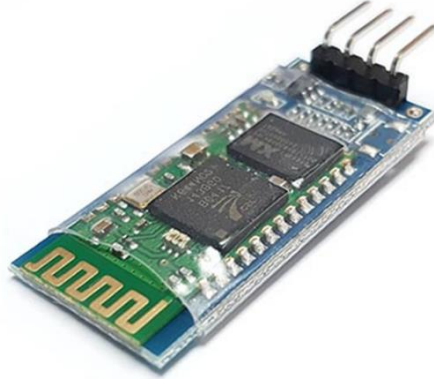
NodeMCU v3 geliştirme kartı (Şekil 2), dahili Wi-Fi ve Derin Uykuda Çalışma özelliklerine sahip yüksek işlem gücü nedeniyle nesnelerin interneti uygulamalarında tercih edilen açık kaynak kodlu ve küçük boyutlu bir elektronik geliştirme kartıdır. Bu kart, 80 MHz ila 160 MHz arasında ayarlanabilir saat frekansında çalışan Tensilica Xtensa 32-bit LX106 RISC mikroişlemcisine sahip ESP8266 yongasını içeren ESP-12E modülü ile birlikte gelir. NodeMCU, veri ve programları depolamak için 128 KB RAM ve 4MB Flash belleğe sahiptir.



Şekil 2. NodeMCU v3 Geliştirme Kartı

HC-06 Bluetooth Modülü

HC-06 Bluetooth Modülü (Şekil 3), 2.4GHz frekansında çalışan ve açık alanda yaklaşık 10 metrelik bir haberleşme mesafesine sahip Bluetooth 2.0 destekli bir karttır. HC-06 Bluetooth modülü sadece slave (bağımlı) olarak çalışmaktadır. Dolayısıyla yalnızca kendine gelen bağlantı isteklerini cevaplayabilmekte, bir bağlantıyı başlatamamaktadır.



Şekil 3. HC-06 Bluetooth Modülü

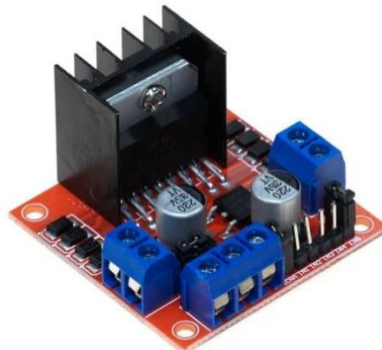
DC Motor ve L298N Motor Sürücüsü

Uygun fiyatı ve kullanılabilirliği nedeniyle basit robotik uygulamalarda en çok kullanılan motor plastik redüktörlü DC motordur (Şekil 4). Motorda iki farklı noktadan mil çıkışı bulunmaktadır, bu nedenle hem sağ hem de sol kullanımlar için uygundur. Bu çalışmada, arka iki tekerleği hareket ettirmek için iki adet dc motor kullanılmıştır.



Şekil 4. 6V Plastik Redüktörlü DC Motor

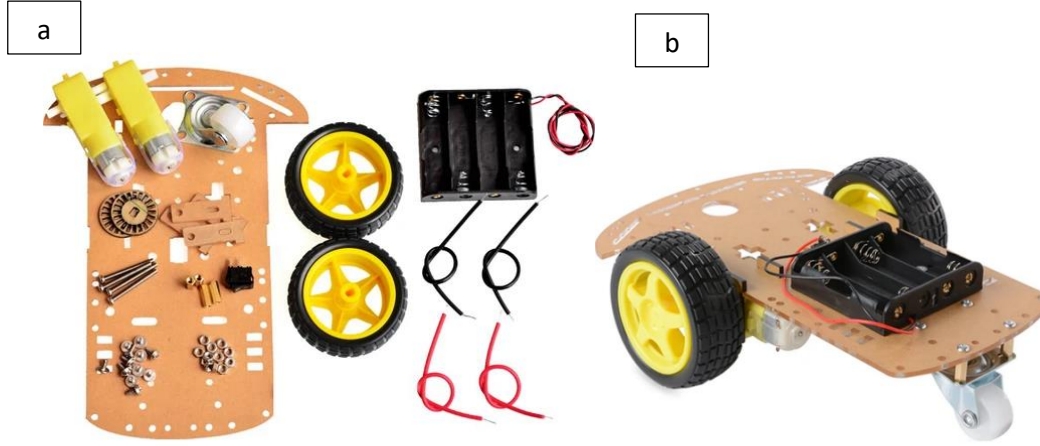
L298N Motor Sürücü Modülü (Şekil 5), DC ve Step Motorları sürmek için yüksek güçlü bir motor sürücü modülüdür. Bu modül L298 motor sürücü entegresi ve 78M05 5V regülatörden oluşmaktadır. Bu motor sürücü kartı, 24V'a kadar olan motorları sürmek amacıyla tasarlanmıştır. İki ayrı kanala sahip olan kart, her bir kanal için 2A akım sağlayabilmektedir. Bu çalışmada iki adet sürücü kartı kullanılmıştır.



Şekil 5. L298N Motor Sürücüsü

Robotik Araba Kiti

Robotik araba oluşturmak için kullanılacak kit içerisinde delikleri hazır şeffaf bir şase, iki tekerlek, 6 V çıkış için 4'lü pil yuvası, sarhoş tekerlek ve vida seti bulunmaktadır (Şekil 6.a). Montaj tamamlandığında Şekil 6.b'deki araç elde edilmektedir.



Şekil 6. a. Robot Araba Kiti b. Kitin Montajı Yapıldıktan Sonraki Durumu

Yazılımsal Araçlar

Python

Öğrenme kolaylığı ve uygulama alanlarındaki gücüyle ön plana çıkan Python, verimli üst düzey veri yapılarına sahip nesne yönelimli bir programlama dilidir. Zarif sözdizimi, dinamik yazım özelliği, yorumlayıcı doğası ve kapsamlı standart kitaplığı; Python'u birçok alanda komut dosyası oluşturma ve hızlı uygulama geliştirme için ideal bir dil haline getirmektedir (Python, 2023). Python dili bu çalışmada, sistemin internet bağlantısına ihtiyaç duymadan DTW yöntemi ile ses tanıma gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır.

PyCharm

PyCharm, Python'da programlama için kullanılan entegre bir geliştirme ortamıdır (PyCharm, 2023). Bu çalışmada, Python programlama dili kullanarak bilgisayarda yapılan işlemler bu platform kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tkinter

Tkinter, Python'un fiili standart GUI (Grafik Kullanıcı Arayüzü) paketidir (Tkinter, 2023). Bu çalışmada bilgisayar tabanlı robotik araç kontrolü için kullanıcı arayüzün tasarlanmasında bu paketten yararlanılmıştır.

Arduino IDE

Arduino uyumlu geliştirme kartları ve aynı zamanda 3. taraf çekirdekler ve satıcıların geliştirme kartları için program yazmak ve yüklemek için kullanılan, C ve C++ dilleri ile yazılmış entegre geliştirme ortamıdır. Uygulama yazılımına <https://www.arduino.cc/en/software> sitesinden erişim sağlanabilir. Bu çalışmada NodeMCU kartı için program oluşturma ve yükleme işlemleri için kullanılmıştır.

Arduino Cloud IoT

Arduino Cloud IoT, nesnelerin interneti (Internet of Things, IoT) projeleri oluşturmayı, dağıtmayı ve izlemeyi kolaylaştıran çevrimiçi bir platformdur. Arduino Cloud IoT, 2019 yılında açık kaynaklı donanım platformu olan Arduino tarafından oluşturulmuştur. Platformda proje oluşturma işlemleri <https://create.arduino.cc/iot/> sitesinden yapılmaktadır. Bu çalışmada, internet üzerinden NodeMCU geliştirme kartı tabanlı uzaktan kontrol ve izleme işlemleri için kullanılmıştır.

STM32CubeIDE

STM32CubeIDE, STM 32 mikrodenetleyicileri ve mikroişlemcileri için çevresel yapılandırma, kod oluşturma, kod derleme ve hata ayıklama özelliklerine sahip gelişmiş bir C/C++ geliştirme platformudur. Uygulama yazılımı

hakkında daha fazla bilgiye ve kurulum dosyasına <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html> sitesinden erişilebilir. Bu çalışmada STM32F407 geliştirme kartını programlamak için kullanılmıştır.

MIT App Inventor

MIT App Inventor, Google tarafından başlatılan ve sonrasında Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından sürdürülen bir web uygulaması entegre geliştirme ortamıdır. Bu platformla Android telefonlar, iPhone'lar ve Android/iOS tabletler için tamamen işlevsel uygulamalar oluşturulabilir. Uygulama oluşturma işlemleri <https://appinventor.mit.edu/> sitesi üzerinden yapılmaktadır. Bu çalışmada, dokunmatik butonlarla ve sesli komutlarla STM32F407 tabanlı akıllı telefon ve Bluetooth temelli robotik araç kontrol çalışması için mobil arayüz oluşturmada kullanılmıştır.

Donanımsal ve Yazılımsal Araçların Tercih Edilme Sebepleri

Bu çalışmada kullanılan donanım ve yazılımlar, literatürde yapılan bilimsel araştırmaların sonuçlarına dayanılarak seçilmiştir. STM32F407VG Geliştirme Kartı, yüksek performanslı işlem yetenekleriyle öne çıkar ve robotik çalışmalarda stabil ve güvenilir bir şekilde kullanılmıştır (Jiang vd., 2023). NodeMCU v3 Geliştirme Kartı, IoT projelerinde yaygın olarak tercih edilir ve kablosuz bağlantı seçenekleriyle projenin internet tabanlı kontrolünü destekler (Abd Jalil vd., 2021). HC-06 Bluetooth Modülü, düşük maliyetli ve yaygın olarak bulunabilen bir Bluetooth çözümüdür ve benzer projelerde başarıyla kullanılmıştır (Santhakumar vd., 2021).

Yazılım tarafında, Python programlama dili geniş kütüphane desteği ve hızlı prototipleme özellikleriyle tercih edilmiştir (Srinath, 2017). PyCharm, Python projelerinin geliştirilmesi için yaygın olarak kullanılan bir entegre geliştirme ortamıdır ve geliştirme sürecini kolaylaştırır (Nguyen, 2109). Tkinter, Python dilinin standart arayüz paketidir ve kullanıcı dostu bir kontrol panelinin oluşturulmasını sağlar (Moore, 2018). Arduino IDE, Arduino tabanlı projelerin geliştirilmesi için yaygın olarak tercih edilir ve geniş bir topluluk desteği bulunmaktadır. Arduino Cloud IoT, internet tabanlı kontrol seçenekleri sunarak projenin uzaktan erişimini mümkün kılar (Kurniawan ve Kurniawan, 2021). STM32CubeIDE, STM32 mikrodenetleyici tabanlı projelerin geliştirilmesi için önerilen bir IDE'dir ve yüksek performanslı işlem yetenekleri sunar (Ünsalan vd., 2022). MIT App Inventor, mobil uygulama geliştirmek için kullanıcı dostu bir platformdur (Top ve Gökbulut, 2022).

Mel-Frekans Kepstral Katsayıları (Mel Frequency Cepstral Coefficients-MFCC)

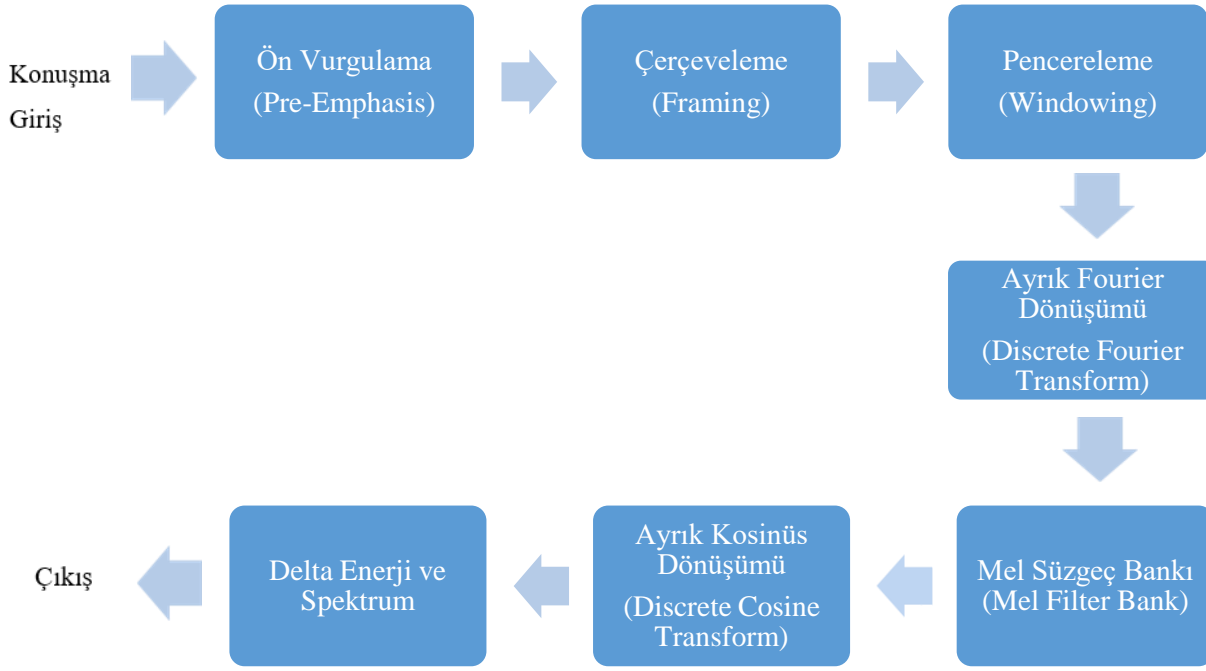
Mel-frekans ölçeği, insan kulağının ses frekanslarındaki değişimi algılayışını temsil eden bir ölçektir. 1000 Hz'e kadar olan seslerin algılanması doğrusal bir şekilde gerçekleşirken, frekans arttıkça değişimin algılanması logaritmik bir yapı kazanır. MFCC ise ses sinyalinin kısa-zamanlı güç spektrumunun Mel ölçeği üzerindeki temsilini ifade eder. Frekansın Mel ölçeğine dönüştürülmesi için kullanılan gerekli formül, (1) numaralı denklemde gösterilmiştir. Burada M , Mel ölçeği değerini temsil ederken f , Hertz cinsinden frekanstır. (Diğken ve İbrikçi, 2015).

$$M = 1125 \ln\left(1 + \frac{f}{700}\right) \quad (1)$$

Mel-Frekans Kepstral Katsayıları, ses işleme alanında özellikle konuşma tanıma ve müzik bilgi çıkarımı uygulamalarında öznitelik çıkarma yöntemi olarak kullanılan katsayılardır. Ses verisi alt kümelere bölünerek özellikler çıkarılır. Bu yöntemin aşamaları Şekil 7'de verilmiştir (Muda vd., 2010).

Ön vurgulama işleminde yüksek frekanslı sinyalin enerjisi artacak şekilde bir süzgeçten geçirilir. Çevreleme aşamasında, ses sinyalleri 20 ms ile 40 ms arasındaki aralıkta bir uzunluğa sahip olacak şekilde küçük parçalara bölünür. Pencereleme aşamasında, ses sinyali bir pencere fonksiyonu (Hamming) ile çarpılır. Dördüncü aşamada, zaman uzayındaki işaretler frekans uzayına dönüştürülür. Sonraki aşamada ise konuşma sinyalleri doğrusal ölçekte olmadığından, sinyaller Mel ölçeğe göre oluşturulmuş süzgeç bankından geçirilir. İşlem sonucunda logaritmik Mel spektrum elde edilir. Altıncı aşamada, Ayrık Kosinüs Dönüşümü kullanılarak logaritmik Mel spektrumu zaman uzayına dönüştürülür ve mel-frekans keppstrum katsayıları elde edilir. Son aşamada ise ses sinyali ve çerçevelerin değişim özelliği nedeniyle keppstral özelliklerin zaman içerisinde değişmesine ilişkin özellikler eklenir.

Bu çalışmada MFCC yöntemi, STM32F407 geliştirme kartı kullanarak Bluetooth üzerinden PC tabanlı robotik araç kontrolü çalışmasında sesli komutların tanınması işlemlerinde kullanılmıştır.



Şekil 7. MFCC Blok Diyagramı

Dinamik Zaman Bükmesi (Dynamic Time Warping - DTW)

Dinamik Zaman Bükmesi yöntemi, zaman içinde değişen iki konuşma sinyali arasındaki benzerliği değerlendirerek, verilen bir ses sinyalinin hangi konuşmacıya ait olduğunu tespit eder. Bu yöntem, iki sinyal arasındaki en uygun zaman eğrisini belirlemek amacıyla kullanılır. Aynı zamanda DTW, ses, video gibi çeşitli veri analizi alanlarında da kullanılan doğrusal bir tekniktir (Bakır, 2016).

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 içerisindeki Q ve C sembolleri, farklı iki konuşma sinyalini temsil ederken, n ve m sembolleri ise bu konuşma sinyallerinin uzunluklarını ifade eder.

$$Q = q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n \quad (2)$$

$$C = c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_m \quad (3)$$

Bu bağlamda, Q ve C sinyalleri arasındaki benzerlik oranı, Eşitlik 3'te olduğu gibi Öklid uzaklık yöntemiyle hesaplanır.

$$d(q_i, c_j) = (q_i - c_j)^2 \quad (4)$$

Q ve C için (i,j) indeksli bir matris oluşturulur. Bu matris kullanılarak birikmiş uzaklıklar matrisi hesaplanır. D, birikmiş maliyet matrisini ifade eder ve özyinelemeli bir şekilde hesaplanır. D(1,1), başlangıç uzaklığı olan d(1,1) değeriyle başlar.

$$D(i, j) = \min[D(i-1, j-1), D(i-1, j), D(i, j-1)] + d(i, j) \quad (5)$$

Bu çalışmada DTW yöntemi, STM32F407 geliştirme kartı kullanarak Bluetooth üzerinden PC tabanlı robotik araç kontrolü çalışmasında sesli komutların tanınması işlemlerinde MFCC ile birlikte kullanılmıştır. Çalışmada MFCC ve DTW yöntemlerinin tercih edilme sebepleri ve var olan uygulamalara göre avantajları şu şekilde ifade edilebilir: İnsan işitmesinin özelliklerini yakalamak üzere tasarlanan MFCC yöntemi, ses dalgalarının frekans ve enerji bileşenlerini temsil ettiğinden dilin fonetik yapısını daha iyi yansıtarak sesli komutların doğru bir şekilde algılanmasına olanak sağlamaktadır. Sesli komutların karşılaştırılmasında kullanılan etkili bir yöntem olan DTW ise sesli komutların farklı hızlarda söylenmesi durumunda dahi benzerliklerini algılayabilme özelliğine sahiptir. Bu sayede, pratik kullanımlarda karşılaşılan değişken hız ve vurgu gibi faktörlerin üstesinden gelerek yüksek doğruluk sağlar. Bu yöntemler, mevcut benzer çalışmalara göre avantajlıdır çünkü dil bağımsızdır. Bu, farklı dillerdeki

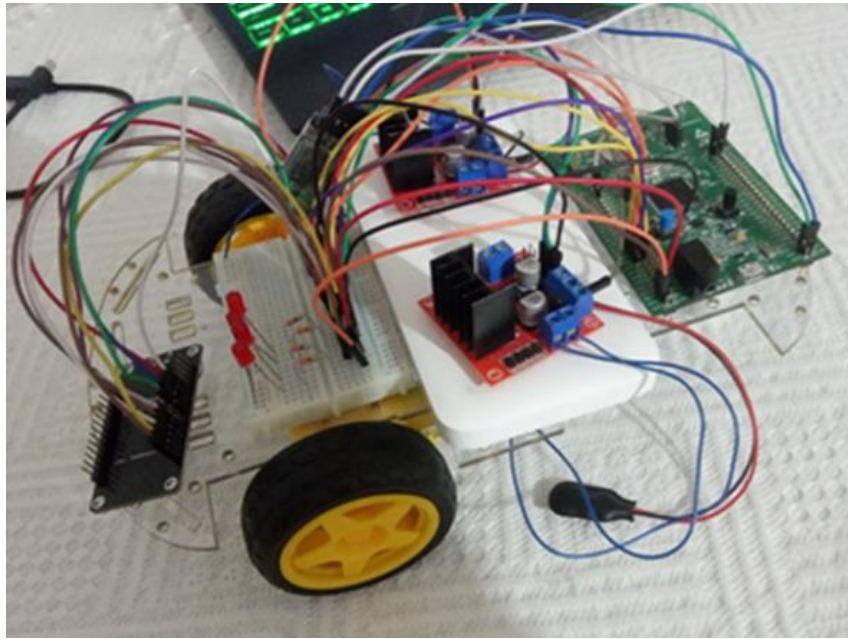
komutları da algılayabilme yetenekleri anlamına gelir. Ayrıca, gerçek zamanlı uygulamalar için hızlı işleme kabiliyetlerine sahip olmaları, kullanıcıların robotu hızlı ve doğru bir şekilde kontrol edebilmesini sağlar.

ÖNERİLEN KONTROL YÖNTEMLERİ VE BULGULAR

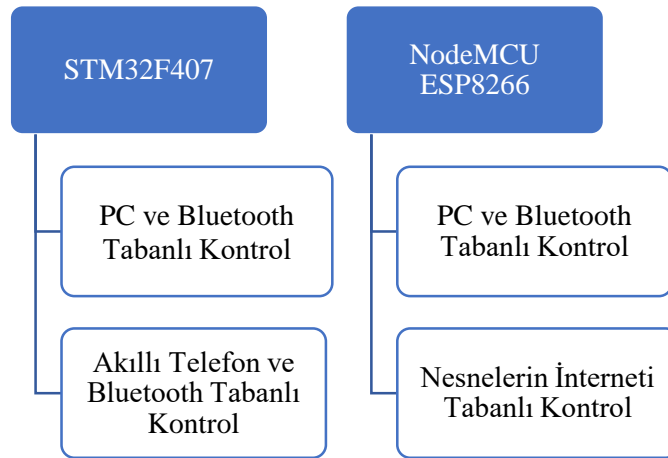
Bu bölümde, tasarlanan araç, onunla ilgili kontrol işlemleri ve elde edilen bulgular sunulmaktadır.

Tasarlanan Robotik Araç

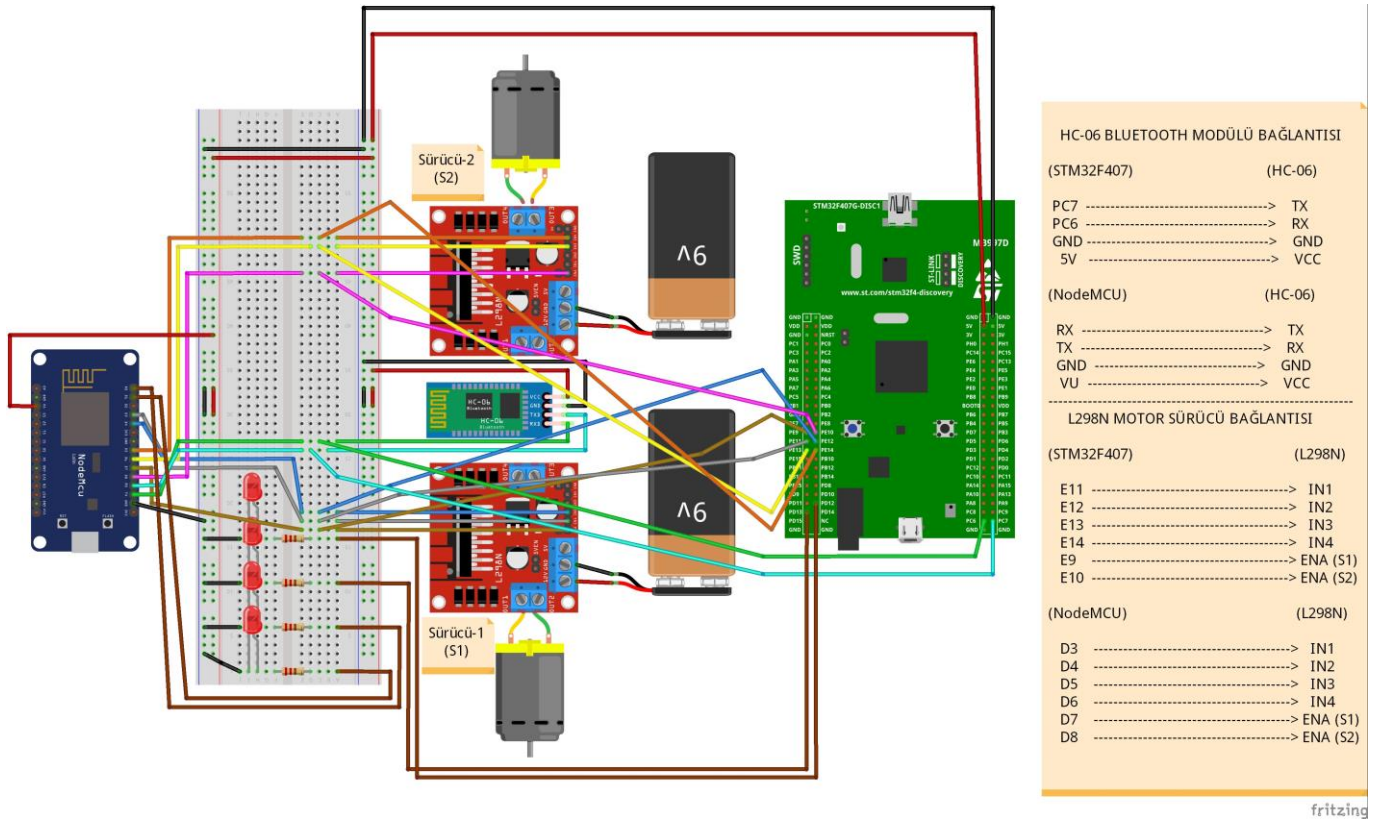
STM32F407 ve NodeMCU geliştirme kartları kullanarak oluşturulan üç tekerlekli robotik araç Şekil 8’de verilmiş olup, kullanılan her bir kart için oluşturulan kontrol yöntemi Şekil 9’da özetlenmiştir. Gerçekleştirilen sistemde, önceki bölümde anlatılan donanımsal araçlara ek olarak; her bir kontrol yönteminde farklı bir tanesi aktif olacak şekilde 4 adet LED ve LED akımlarını sınırlamak için 4 adet 220 ohm direnç ile birlikte elektrik bağlantı kabloları, devre tahtası, motor sürücü kartlarının güç beslemesi için 2 adet 9V pil ve geliştirme kartlarının güç beslemesi için bir adet taşınabilir şarj aleti de kullanılmıştır. Fritzing programı kullanarak gerçekleştirilen araca ait elektronik devre şeması Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 8. Tasarlanan Aracın Son Hali



Şekil 9. Tasarlanan Araç için Oluşturulan STM32F407 ve NodeMCU Kartları Tabanlı Kablosuz Robotik Araç Kontrol Çalışmaları

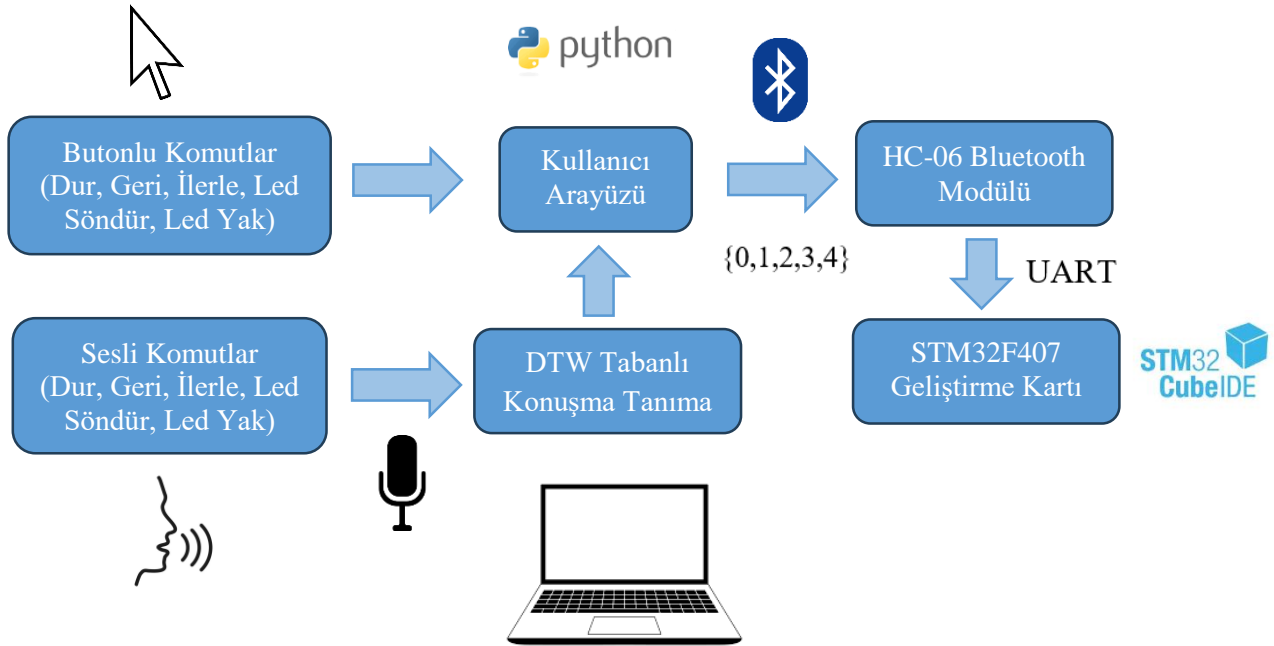


Şekil 10. Tasarlanan Araca ait Fritzing Programında Çizilen Elektronik Devresi

STM32F407 Geliştirme Kartı Tabanlı Kablosuz Robotik Araç Kontrolleri

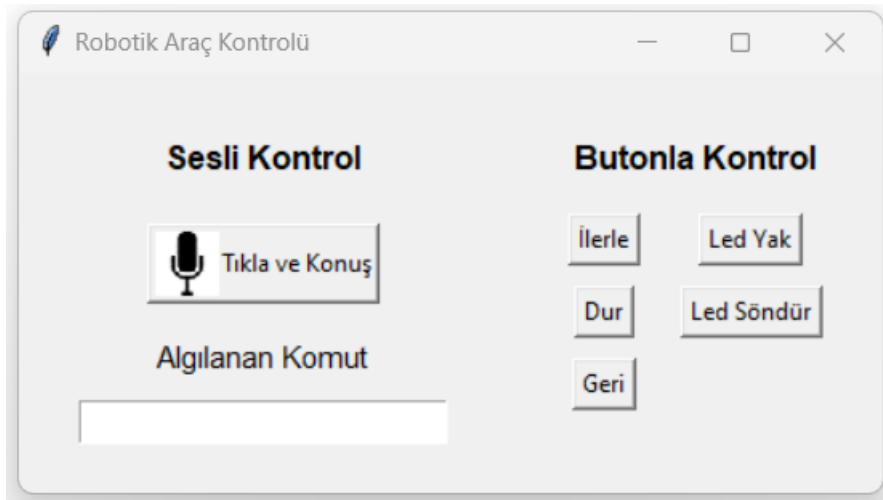
STM32F407 geliştirme kartı kullanarak Bluetooth üzerinden PC ve Akıllı telefon tabanlı olmak üzere iki robotik araç kontrolü çalışması yapılmıştır.

STM32F407 tabanlı ilk çalışma, Bluetooth üzerinden bilgisayar tabanlı olarak butonlu ve sesli komutlarla robotik aracı kontrol etmeyi hedeflemekte olup, oluşturulan sistemin blok diyagramı Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. STM32F407 Tabanlı PC ve Bluetooth Temelli Robotik Araç Kontrol Çalışması

Bu çalışma için hazırlanan Tkinter tabanlı kullanıcı arayüzü Şekil 12’de verilmiştir. Sesli kontrol çalışması için 5 sesli komuttan herhangi biri seslendirildiğinde, PC bilgisayar mikrofonundan alınan ses kaydı, DTW yöntemi kullanılarak eğitim veri setindeki seslerle karşılaştırılmakta ve ilgili komut belirlenmektedir. MFCC ve DTW tabanlı konuşma sesi tanıma işlemi için Python dilinde oluşturulan programın ilgili parçası Şekil 13’te verilmiştir. Burada ‘İleri’ yerine ‘İlerle’ kelimesinin seçilmesinin sebebi, ‘geri’ ve ‘ileri’ kelimelerindeki ‘eri’ benzerliğinden dolayı DTW yöntemi tabanlı ses tanımda bu kelimelerin ayırt edilmesinde yaşanan zorluktur. Bu yüzden, ‘geri’ kelimesinin kullanıldığı veri setinde daha iyi tanıma oranı sağladığından ileri yön için ‘ilerle’ kelimesi kullanılmıştır. Şekil 12’deki kullanıcı arayüzde ‘Sesli Kontrol’ kısmındaki ‘Tıkla ve Konuş’ butonuna tıkladığında, 5 komuttan herhangi biri söylendiğinde, algılanan komut arayüzdeki metin sonuç penceresi kısmına yazdırılmaktadır. Son olarak, STM32F407 geliştirme kartına Bluetooth bağlantı ile sesli komutlara karşılık oluşturulan ‘0, 1, 2, 3, 4’ değerlerinden biri yollanmaktadır ve robotik araç istenilen eylemi gerçekleştirmektedir. Butonlu komutlarla kontrol işleminde ise, kullanıcı arayüzündeki ‘Butonla Kontrol’ kısmındaki herhangi bir buton tıklanarak ilgili eylem gerçekleştirilmektedir. ‘Led Yak’ komutu LED’i yakmak, ‘Led Söndür’ ise LED’i söndürmek için kullanılmaktadır.



Şekil 12. STM32F407 Tabanlı PC ve Bluetooth Temelli Robotik Araç Kontrol Çalışması için Tasarlanan Bilgisayar Kullanıcı Arayüzü

```
def dongu(train, mfcc_test):
    uzaklık = []
    x = mfcc_test
    dmin, jmin = math.inf, -1
    for k in say:
        d_ort = 0
        d_top = 0
        tekrar = 0
        for j in train:
            if labels[j] == kelime[k]:
                y = mfccs[j]
                d, path = fastdtw(y, x, dist=euclidean)
                d_top = d_top + d
                tekrar = tekrar + 1
        d_ort = d_top / tekrar
        uzaklık.append(d_ort)
    dmin, jmin = math.inf, -1
    for i in say:
        uzak = uzaklık[i]
        if uzak < dmin:
            dmin = uzak
            jmin = i
    return kelime[jmin], uzaklık
```

Şekil 13. Python’da MFCC’ye Dayalı DTW Tabanlı Sesli Komut Tanıma İşlemine Ait Kod Parçası

Sunulan konuşma tanıyıcıyı eğitmek amacıyla Tablo 1’de belirtildiği 15 farklı katılımcıdan 5 komut kelimesi için ses kayıtları alınmıştır. Gerçek zamanlı performansını değerlendirmek için ise Şekil 12’deki kullanıcı arayüz kullanarak test işlemi yapılmıştır. Teste aşamasına katılan 10 katılımcının sesleri, eğitim aşamasında kullanılmamıştır. Tablo 1’de görüldüğü üzere, oluşturulan yöntem testte hatasız bir şekilde sınıflandırma yapmıştır. Her kelimenin tanınma başarı oranı Eşitlik (6)’da verilen denklemle hesaplanmıştır (Abed ve Jasim, 2016). Eğer çalışmada ‘ilerle’ yerine ‘ileri’ komutu kullanılsaydı; 10 adet ‘ileri’ test verisinden 2 tanesi ‘geri’, 10 adet ‘geri’ test verisinden 5 tanesi ‘geri’ olarak sistem tarafından algılanmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur, çünkü bir önceki paragrafta anlatıldığı gibi ‘geri’ ve ‘ileri’ kelimelerindeki ‘eri’ benzerliğinden dolayı DTW yöntemi tabanlı ses tanıma sistemi bu kelimelerin ayırt edilmesinde zorluk yaşamaktadır.

$$\text{Başarı oranı} = \frac{\text{Doğru tanınan kelime sayısı}}{\text{Test edilen kelime sayısı}} \times 100\% \quad (6)$$

Tablo 1. Veri Seti ve DTW Yöntemi Tabanlı Ses Tanıma Başarı Oranı

Ses Komutları	Kodlama	Eğitim		Test		Başarı Oranı
		Erkek	Kadın	Erkek	Kadın	
Dur	0	9	6	6	4	%100
Geri	1	9	6	6	4	%100
İlerle	2	9	6	6	4	%100
Led Söndür	3	9	6	6	4	%100
Led Yak	4	9	6	6	4	%100

STM32F407 kartının aldığı komuta uygun bir biçimde eylem gerçekleştirmesi için STM32CubeIDE kullanarak C dilinde proje dosyası oluşturulmuştur. Bu projede ‘İlerle’ komutuna karşılık gelen program kod parçası Şekil 14’te verilmiştir.

```
/* INFINITE LOOP */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1) {
    /* USER CODE END WHILE */
    HAL_UART_Receive(&huart6, (uint8_t*) rx_buffer, 50, 300);

    HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_9, GPIO_PIN_RESET); //ENABLE1
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_10, GPIO_PIN_RESET); //ENABLE2
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_11, GPIO_PIN_RESET); // IN1 Motor 1
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_RESET); // IN2 Motor 1
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_RESET); // IN3 Motor 2
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET); // IN4 Motor 2

    HAL_Delay(500);

    /* USER CODE BEGIN 3 */

    HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_9, GPIO_PIN_SET); // ENABLE 1 AKTIF
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_10, GPIO_PIN_SET); // ENABLE 2 AKTIF

    // İLERLE HAREKETİ
    if (rx_buffer[0] == '2' ) {

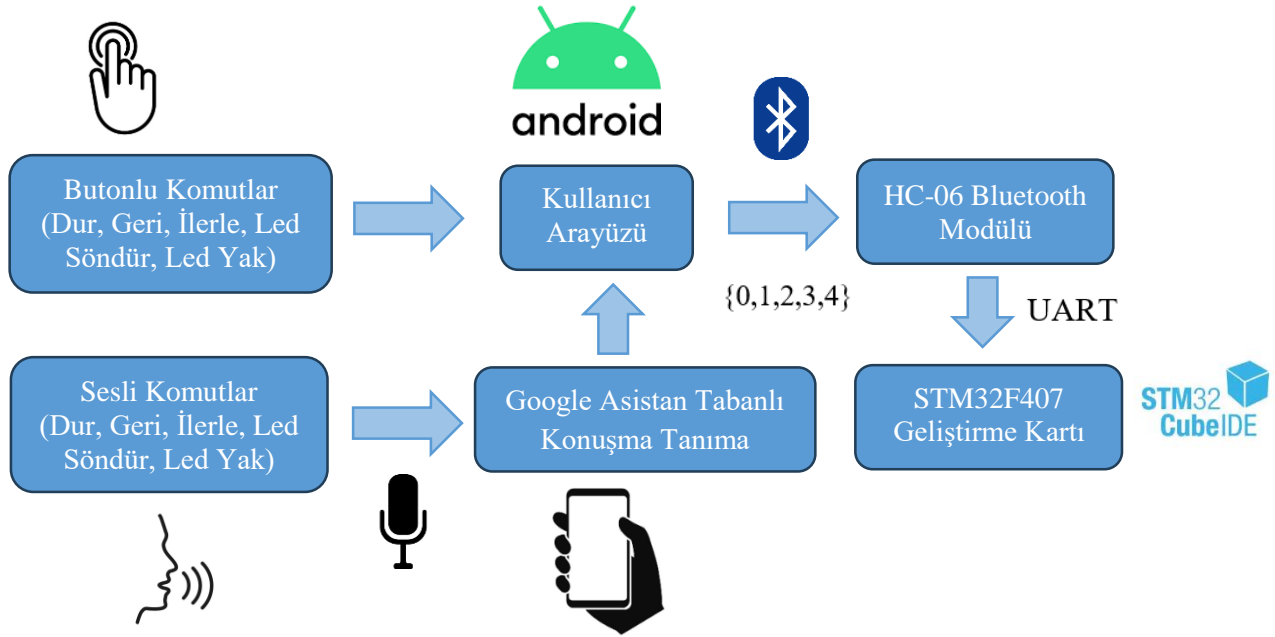
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_11, GPIO_PIN_RESET); // IN1 Motor 1
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_SET); // IN3 Motor 2
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_SET); // IN2 Motor 1
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET); // IN4 Motor 2

        HAL_Delay(3000);
    }
}
```

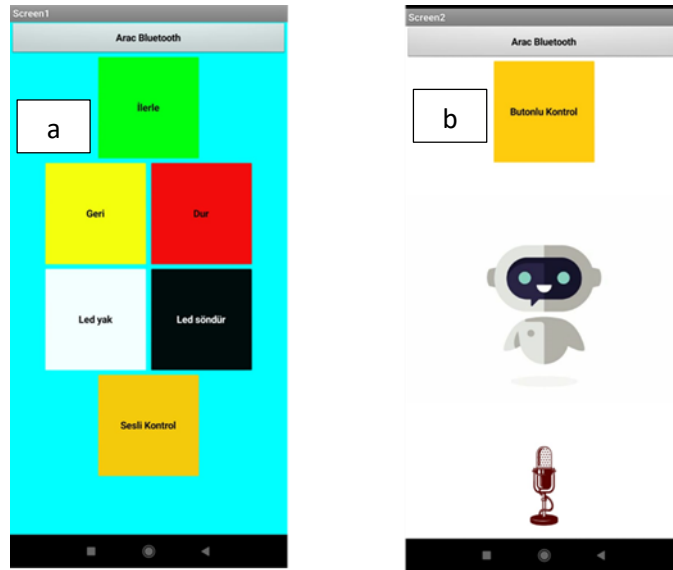
Şekil 14. STM32Cube IDE’de Hazırlanan Programın bir Parçası

STM32F407 tabanlı ikinci çalışma ise akıllı telefon kullanarak butonlu veya sesli komutlarla robotik aracı kontrol etmeyi hedeflemekte olup, oluşturulan sistemin blok diyagramı Şekil 15'te verilmiştir. Bu çalışma için Şekil 16.a'da görüldüğü üzere 6 adet tuştan oluşan bir akıllı telefon mobil uygulama ara yüzü MIT App Inventor platformu üzerinden geliştirilmiştir. İlk 5 buton, robotik araç kontrol komutları olup, 6. buton olan 'Sesli kontrol' butonu ise ikinci bir ekrana yönlendirmektedir (Şekil 16.b). Bu ekranda mikrofon imgesine tıklayarak Google asistan aracılığıyla sesli komutlar metne çevrilip Bluetooth üzerinden '0, 1, 2, 3, 4' değerleri STM32F407 kartına gönderilmektedir. Bu çalışmada STM32 kartı için kullanılan kod, PC tabanlı çalışmada kullanılan kodun aynısıdır.

Bu ikinci çalışmada, Tablo 1'de test aşamasında yer alan 5 katılımcı üzerinden sistemin sesli çalışması test edildi ve oluşturulan sistemin hatasız olarak komutları algıladığı ve ilgili eylemi gerçekleştirdiği görülmüştür.



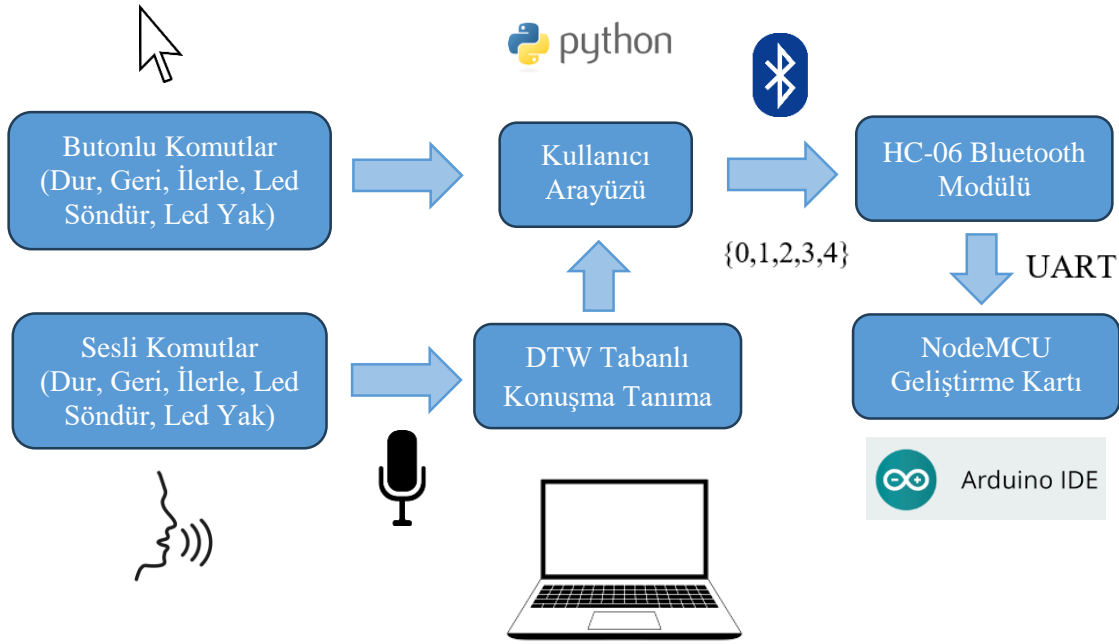
Şekil 15. STM32F407 Tabanlı Akıllı Telefon ve Bluetooth Temelli Robotik Araç Kontrol Çalışması



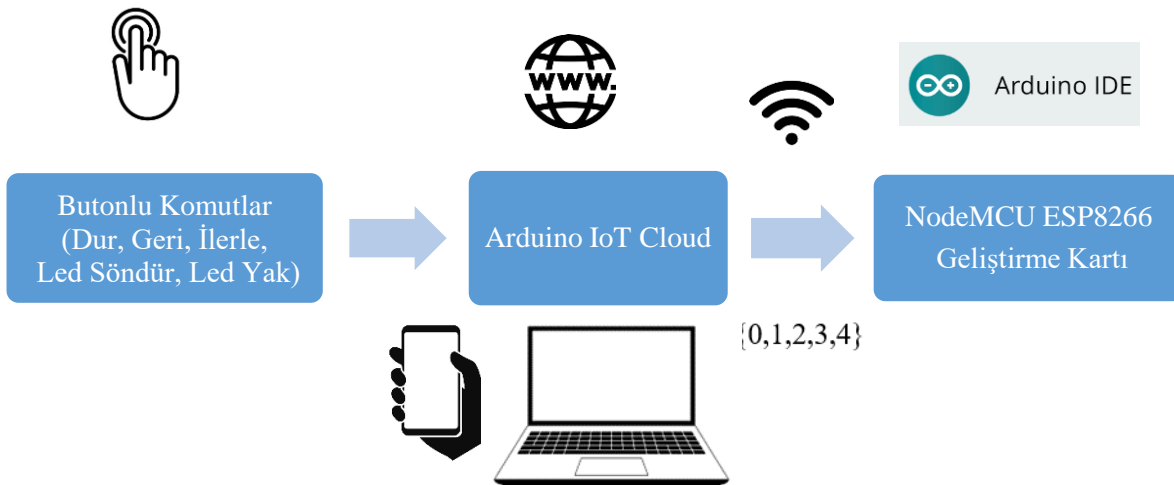
Şekil 16. STM32F407 Tabanlı Akıllı Telefon ve Bluetooth Temelli Robotik Araç Kontrol Çalışması için Telefon Uygulaması Arayüzü a. Butonlu Komutlar için b. Sesli Komutlar için

NodeMCU Geliştirme Kartı Tabanlı Kablosuz Robotik Araç Kontrolleri

NodeMCU kartı kullanarak Bluetooth ve internet üzerinden PC ve Akıllı telefon tabanlı olmak üzere iki robotik araç kontrolü çalışması yapılmıştır. İlk çalışma, Bluetooth üzerinden bilgisayar tabanlı olarak butonlu ve sesli komutlarla aracı kontrol etmeyi hedeflemektedir. STM32F407 için hazırlanan ilk çalışmaya benzer olan sistemin blok diyagramı Şekil 17’de verilmiştir. Kullanıcı arayüzü Şekil 12’deki gibi olup NodeMCU için uygulama programı Arduino IDE platformunda yazılmış ve karta yüklenmiştir. Sadece butonlu komutlar için olan ikinci çalışmada ise, ESP8266 Wi-Fi modülü barındıran NodeMCU kartı kullanarak PC veya Akıllı telefon üzerinden nesnelerin interneti tabanlı robotik araç kontrolü yapılmıştır. Bu çalışmayla ilgili oluşturulan sistemin blok diyagramı Şekil 18’de verilmiştir. Bu sistemin çalıştırılması için Arduino IoT Cloud platformu üzerinden bir kullanıcı arayüz oluşturulmuştur (Şekil 19). Bu arayüzde internete bağlı olarak aracın hareketlerini uzaktan kontrol etmek için 3 adet buton (İlerle, Dur, Geri), LED kontrol için bir anahtar ve LED durum takibi için bir adet gösterge konulmuştur. NodeMCU için oluşturulan çalışmalar 5 katılımcı tarafından test edildi ve sistemin hatasız olarak çalıştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 17. NodeMCU Tabanlı PC ve Bluetooth Temelli Robotik Araç Kontrol Çalışması



Şekil 18. Butonlu Komutlarla NodeMCU Tabanlı Nesnelerin İnterneti Temelli Robotik Araç Kontrol Çalışması

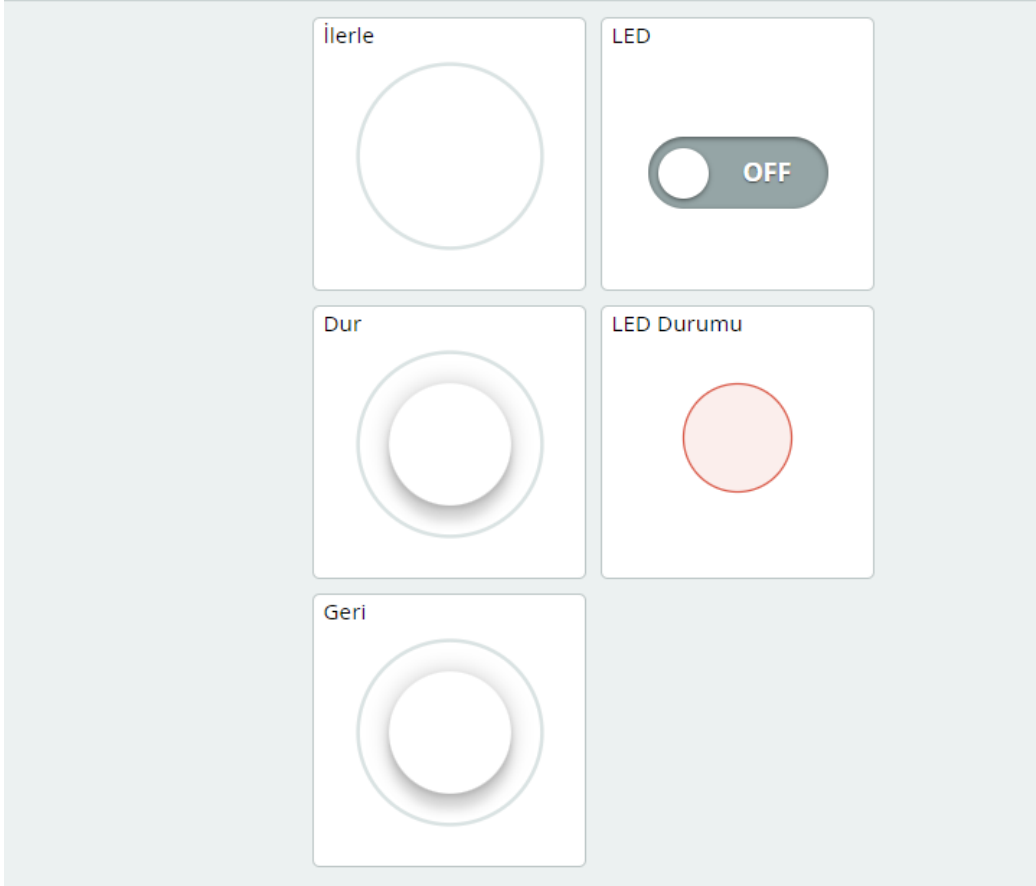
Dashboards

Devices

Integrations

Templates

Robotik Araba Kontrol



Şekil 19. Arduino IoT Cloud Arayüzü

SONUÇLAR

Bu çalışmada, internetli ve internetsiz ortamlarda çalışabilecek şekilde Türkçe sesli komutlarla veya dokunmatik butonlarla kontrol edilebilen 3 tekerlekli robotik bir araç gerçekleştirilmesi için STM32F407 ve NodeMCU geliştirme kartlarının kullanımı incelenmiştir. Öncelikle butonlu ve sesli komutlarla yönlendirilebilecek STM32F407 tabanlı PC ve Bluetooth temelli robotik araç kontrol çalışması yapılmıştır. Sesli komutların algılanabilmesi için MFCC ve DWT yöntemleri kullanılmış, eğitim amaçlı 15 katılımcıdan ses örnekleri alınmıştır. Eğitime katılmamış 10 katılımcı ile sistem test edilmiş ve %100 başarı oranı yakalanmıştır. Sistem kullanımı için Tkinter tabanlı bir kullanıcı arayüz oluşturulmuştur. Daha sonra, butonlu ve sesli komutlarla STM32F407 tabanlı akıllı telefon ve Bluetooth temelli robotik araç kontrol çalışması yapılmıştır. Bu sistemin kullanımı için ise bir mobil kullanıcı arayüzü hazırlanmıştır. Son olarak, NodeMCU tabanlı Bluetooth ve Wi-Fi bağlantılarıyla çalışan yöntemler gerçekleştirilmiştir. Wi-Fi bağlantılı Nesnelerin İnterneti çalışması için Arduino IoT Cloud platformunda bir arayüz oluşturulmuştur. Çalışmada, STM32F407 kartının programlanması için C programlama dili ve STM32CubeIDE platformu; NodeMCU kartının programlanması için ise C++ tabanlı Arduino programlama dili ve Arduino IDE platformu kullanılmıştır. Gerçek zamanlı test çalışmaları, oluşturulan sistemlerin başarıyla çalıştığını göstermiştir.

Bu çalışmayla bağlantılı olarak robotik araçlarla ilgili olarak gelecekte yapılabilecek çalışmalar için şunlar önerilmektedir:

- Nesnelerin interneti ile kontrol işleminde bulut platforma sesli komutla çalışma özelliklerinin eklenmesi
- Uzaktan veya yüksek riskli alanlarda kullanım için çeşitli sensörlerin ve kameranın sisteme eklenmesi

- Sesli komutla kontrol çalışması için DTW yerine HMM veya diğer konuşma tanıma modellerinin kullanımının incelenmesi
- Tekerlekli robotik araçlar yerine adımlama yapan iki ayaklı robotların kontrolünün çalışılması

KAYNAKLAR

- Abd Jalil, A. M., Mohamad, R., Anas, N. M., Kassim, M., & Suliman, S. I. (2021). Implementation of vehicle ventilation system using NodeMCU ESP8266 for remote monitoring. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10(1), 327-336.
- Abed, A. A., & Jasim, A. A. (2016). Design and implementation of wireless voice controlled mobile robot. *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Science*, 9(2), 135-147.
- Andrew, A. B., Rajiv, S. A., Jusat, N., Zainuddin, A. A., Subramaniam, K., Rahman, N. A., & Sahak, R. (2021, August). Implementation of low-cost voice command robot using arduino uno platform. In *2021 IEEE 7th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA)* (pp. 134-139). IEEE.
- Aras, S., Öztürk, M., & Gangal, A. (2014, April). Recognition of real time voiced direction commands. In *2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 2245-2248). IEEE.
- Baltacıoğlu, F. (2010). Uzaktan sesle kontrol edilebilen robot tasarımı ve yapımı. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya.
- Bakır, Ç. (2016). Alman dili üzerinde konuşmacı cinsiyetinin otomatik olarak belirlenmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 4(2), 52-58.
- Chakraborty, S., De, N., Marak, D., Borah, M., Paul, S., & Majhi, V. (2021, October). Voice controlled robotic car using mobile application. In *2021 6th International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC)* (pp. 1-5). IEEE.
- Chandelker, D., Kogahe, A., Suryawanshi, H., Chopde, N., Patil, N., Malviya, S., Sahu, V. & Chadokar, S. (2021). Arduino based voice control car. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 8(03), 1424-1429.
- Chikhale, M. V., Gharat, M. R., Gogate, M. S., & Amireddy, M. R. (2017). Voice controlled robotic system using Arduino microcontroller. *International Journal of New Technology and Research*, 3(4), 92-94.
- Çelebi, M. (2012). Ses komut tanıma ile gezgin araç kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Çubukçu, A., Kuncan, M., Kaplan, K., & Ertunc, H. M. (2015, May). Development of a voice-controlled home automation using Zigbee module. In *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1801-1804). IEEE.
- Diğken, G., & Ibrikci, T. (2015, May). Recognition of non-speech sounds using Mel-frequency cepstrum coefficients and dynamic time warping method. In *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 144-147). IEEE.
- Doğan, S. (1999). PC ortamında sesli komutları tanıma. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Dutta, P. P., Kumar, A., Singh, A., Saha, K., Hazarika, B., Narzary, A., & Sharma, T. (2020, June). Design and development of voice controllable wheelchair. In *2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)(ICRITO)* (pp. 1004-1008). IEEE.
- Edizkan, R., Tiryaki, B., Büyükcan, T., & Uzun, İ. (2007, Ocak). Ses komut tanıma ile gezgin araç kontrolü. In *Akademik Bilişim 2007* (pp. 1-4).
- Gupta, M., Kumar, R., Chaudhary, R. K., & Kumari, J. (2021, December). IoT based voice controlled autonomous robotic vehicle through google assistant. In *2021 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)* (pp. 713-717). IEEE.
- Gündoğdu, K., & Çalhan, A. (2013). Ses denetimli engelli insan aracı tasarımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 110-119.

- Gündoğdu, K., & Yücedağ, İ. (2013). Ses veya arayüz yardımı ile kontrol edilebilen mobil robot kol tasarımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 24-31.
- Harika, T., Chaitanya, M. L., Avinash, V. J., Arun, V., & Shamuella, S. (2018). Voice controlled robot using raspberry pi. *International Journal of Innovative Technologies*, 6(01), 0257-0261.
- Ioana, G., & Văduva, J. A. (2022, October). Voice controlled robot dog. In *2022 IEEE 28th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)* (pp. 195-200). IEEE.
- İskender, A., Üçgün, H., Yüzgeç, U., & Kesler, M. (2017, October). Voice command controlled mobile vehicle application. In *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)* (pp. 929-933). IEEE.
- Jiang, J., Ying, S., Fu, W., & Jiang, X. (2023). Structure design and system implementation of a supermarket shopping robot based on deep learning. *International Journal of Data Science*, 8(1), 1-15.
- Kannan, K., & Selvakumar, J. (2015). Arduino based voice controlled robot. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2(01), 49-55.
- Karthik, P. C., Singh, R. P., & Gupta, M. (2020). Voice controlled robot using nodemcu. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(04), 1921-1925
- Khan, R. L., Priyanshu, D., & Alsulaiman, F. S. (2021, December). Implementation of human voice controlled robotic car. In *2021 10th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART)* (pp. 640-646). IEEE.
- Khawate, S., Prajapati, K., Anand, Y., & Chandodwala, K. (2022). Voice controlled robotic car using arduino. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology (IJSRSET)*, 9(3), 119-129.
- Kumar, T. S., & Rao, V. R. (2020). Voice controlled robot using wi-fi module. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7, 423-425.
- Kuriakose, S., Harshitha, M. M., Keerthana, D. G., Adarsh, S., & Harshitha, K. (2023, March). Wireless voice controlled robot. In *2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)* (Vol. 1, pp. 189-194). IEEE.
- Kurniawan, A., & Kurniawan, A. (2021). Arduino IoT Cloud. *Beginning Arduino Nano 33 IoT: Step-By-Step Internet of Things Projects*, 131-155.
- Manwani, A., Dhirani, J., Baloch, A., & Wasan, R. H. (2022). Design of voice-controlled robot vehicle. *Journal of Applied Engineering & Technology (JAET)*, 6(1), 40-47.
- Moore, A. D. (2018). *Python GUI Programming with Tkinter: Develop responsive and powerful GUI applications with Tkinter*. Packt Publishing Ltd.
- Mnassri, A., Nasri, S., Boussif, M., & Cherif, A. (2022, May). Robust real-time automatic voice command based on raspberry pi for assistance disabled people. In *2022 IEEE 9th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT)* (pp. 474-478). IEEE.
- Muda, L., Begam, M., & Elamvazuthi, I. (2010). Voice recognition algorithms using mel frequency cepstral coefficient (MFCC) and dynamic time warping (DTW) techniques. *arXiv preprint arXiv:1003.4083*.
- Nguyen, Q. (2019). *Hands-on application development with PyCharm: Accelerate your Python applications using practical coding techniques in PyCharm*. Packt Publishing Ltd.
- Pal, D., Kaur, N., Motwani, R., Mane, A. D., & Pal, P. (2023, March). Voice-Controlled robot using arduino and bluetooth. In *2023 3rd International Conference on Smart Data Intelligence (ICSMDI)* (pp. 546-549). IEEE.
- Pinjarkar, S., Khadpe, S., Tavte, A., & Karpe, R. (2017). Voice controlled robot through android application. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(04), 3266-3268.
- PyCharm. JetBrains. 2019. <https://www.jetbrains.com/pycharm/> Accessed 19.08.23.
- Python. Python Software Foundation. <https://www.python.org/> Accessed 19.08.23.
- Rasal, S. P. (2014). Voice controlled robotic vehicle. *International Journal of New Trends in Electronics and Communication*, 2(1), 28-30.

- Rashid, H., Ahmed, I. U., Osman, S. B., Newaz, Q., Rasheduzzaman, M., & Reza, S. T. (2017, January). Design and implementation of a voice controlled robot with human interaction ability. In *International Conference on computer, communication, chemical, materials and electronic engineering* (Vol. 65, pp. 148-151).
- Sachdev, S., Macwan, J., Patel, C., & Doshi, N. (2019). Voice-controlled autonomous vehicle using IoT. *Procedia Computer Science*, 160, 712-717.
- Santhakumar, M., Saran, S., Sathishkumar, S., Gunaseelan, M., & Elango, K. (2021). Voice controlled car using android, arduino and bluetooth. *J Elect Eng Technol (IJEET)*, 12(3), 244-251.
- Saravanan, M., Selvababu, B., Jayan, A., Anand, A., & Raj, A. (2020, December). Arduino based voice controlled robot vehicle. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (993(1), p. 012125). IOP Publishing.
- Selvi, C. T., Anishviswa, N., Karthi, G. A., Darshan, K., & Balaji, M. G. (2021, November). Automated voice controlled car using arduino with camera. In *2021 Fifth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)* (pp. 708-711). IEEE.
- Shah, S. M. A. (2021). Multi-way controlled robot vehicle using arduino and rf module. *Journal of Applied Engineering & Technology (JAET)*, 5(1), 1-8.
- Siddesh, G. K., Patel, R. K., Maitra, S., Bhattacharya, S., Moosa, S., & Pavan, P. (2023, March). Robotic car using nodemcu esp8266 wi-fi module. In *2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)* (Vol. 1, pp. 1439-1443). IEEE.
- Sissodia, R., Rauthan, M. S., & Barthwal, V. (2023, February). Arduino based bluetooth voice-controlled robot car and obstacle detector. In *2023 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)* (pp. 1-5). IEEE.
- Sowmiya Bharani, B. (2021). Arduino based voice controlled robotic arm and wheels. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(12), 2452-2457.
- Srinath, K. R. (2017). Python—the fastest growing programming language. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(12), 354-357.
- Srivastava, S., & Singh, R. (2020). Voice controlled robot car using Arduino. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(05), 4033-4037.
- STM32F407VG. STMicroelectronics. <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f407vg.html> Accessed 20.08.23.
- Timsina, A., Sharma, D. C., Sharma, N., Bhutia, A., & Pardhan, S. (2020). Voice command robotics car. *Int Res J Modern Eng Technol Sci*, 2(06), 1393-1397.
- Tkinter. Python interface to Tcl/Tk - Python 3.7.2 documentation. Python Software Foundation. 2019. <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html> Accessed 19.08.23.
- Top, A., & Gökbulut, M. (2022). Android Application Design with MIT App Inventor for Bluetooth Based Mobile Robot Control. *Wireless Personal Communications*, 126(2), 1403-1429.
- Ullah, S., Mumtaz, Z., Liu, S., Abubaqr, M., Mahboob, A., & Madni, H. A. (2019). Single-equipment with multiple-application for an automated robot-car control system. *Sensors*, 19(3), 662, 1-18.
- Ünsalan, C., Gürhan, H. D., Yücel, M. E., Ünsalan, C., Gürhan, H. D., & Yücel, M. E. (2022). Advanced Topics. *Embedded System Design with ARM Cortex-M Microcontrollers: Applications with C, C++ and MicroPython*, 555-563.
- Vatansever, A., & Kuscü, H. (2016). Design of voice controlled vehicle. In *International Conference on Advances Automotive Technologies 2016* (pp. 32-38). Istanbul, Turkey: Yildiz Technical University.
- Verma, A., Kumar, D., Maurya, H., Kumar, A., & Dwivedi, M. P. (2020). Voice control robot using arduino. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 2(04), 855-858.