

GÖRÜNTÜ İŞLEME VE MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI KONUM BELİRLEME, ROBOT KOLU YÖNLENDİRME VE PARÇA YERLEŞTİRME SİSTEMİ

VIDEO PROCESSING AND MACHINE LEARNING BASED POSITIONING, ROBOT
ARM GUIDANCE AND PART PLACEMENT SYSTEM

Burak PARLAR*
Namık Ömer SAYAR**
Ömer AYDIN***

Öz

Bu çalışmada görüntü işleme tabanlı konum belirleme, robot yönlendirme ve parça yerleştirme sistemi gerçekleştirilmiştir. Robot kol için sabit istasyon robot tipinde 3 eksen hareket kabiliyetli robot kol belirlenmiştir ve 3D yazıcı ile üretilmiştir. Bir kamera modülü ve Raspbery Pi 4 model B kontrol ünitesi de eklenerek sabit istasyonlu robot kol sistemi oluşturulmuştur. Görüntü, Raspbery Pi'ye bağlı robot kolunu çalışma alanını görecektir şekilde yerleştirilen Raspbery Pi kamerası ile alınmıştır. Görüntü işleme için Python dilindeki açık kaynak kodlu OpenCV Kütüphanesi kullanılmıştır. Tanıma modülü kameradan alınan görüntüdeki nesneler görüntü işleme teknikleri kullanılarak belirlenmiş ve morfolojik özellikler çıkarılarak tanıma modeli geliştirilmiştir. Robot yönlendirme içinde Arduino Nano kullanılmıştır. Motorların hareket modülünde ise görüntü işleme sonrası belirlenen koordinatlar için ters kinematik teknikleri kullanılarak her bir eklemin açıları hesaplanarak motor hareketleri yaptırılmıştır. Robot kolun görevi şöyle tanımlanmaktadır; konveyörden gelen ürünleri tanıyıp, ürünün konumunun belirlenmesi ve bu ürünleri uygun yerlere yerleştirmesinin başarılı bir şekilde yapılması sağlanmıştır. Bu işlem için Linux tabanlı Rasbian işletim sistemine sahip Raspbery Pi 4 Model B geliştirme kartı üzerinde çalışılmış ve görüntü işleme aşaması burada tamamlanmıştır. Robot kol açılarının hesaplanması ve robot kol hareketlerinin servo motorlar yardımıyla sağlanması için ise Arduino Nano kullanılarak Arduino IDE programında yazılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Makine Öğrenmesi, Robot Kol, Arduino Nano, OpenCV, Python.

* Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 160311023@ogr.cbu.edu.tr

** Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 160311044@ogr.cbu.edu.tr

*** Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, omer.aydin@cbu.edu.tr,

Abstract

In this study, video processing-based positioning, robot guidance and part placement system has been implemented. For the robot arm, a fixed station robot type with 3 axis mobility was determined and produced with a 3D printer. A fixed station robot arm system was created by adding a camera module and Raspberry Pi 4 model B control unit. The video was captured with the Raspberry Pi camera placed so that the robot arm connected to the Raspberry Pi can see the working area. The open-source OpenCV Library in Python language is used for video processing. Objects in the video captured from the camera of the recognition module were determined using video processing techniques and the recognition model was developed by extracting morphological features. Arduino Nano is used for robot guidance. In the motion module of the motors, motor movements were made by calculating the angles of each joint using inverse kinematics techniques for the coordinates determined after video processing. The task of the robot arm is defined as follows; Recognizing the products coming from the conveyor, determining the position of the product and placing these products in the appropriate places successfully were ensured. For this process, the Raspberry Pi 4 Model B development board with a Linux-based Rasbian operating system was worked on and the video processing phase was completed here. In order to calculate the robot arm angles and to provide the robot arm movements with the help of servo motors, it was written in the Arduino IDE program using Arduino Nano.

Keywords: Video Processing, Machine Learning, Robot Arm, Arduino Nano, OpenCV, Python.

1. GİRİŞ

Günümüzde, nesne tanıma, görüntü işleme ve robot yönlendirme gibi projelerdeki araştırmaların artması ile birlikte, çoğu otomasyon teknolojileri, yerini robotik uygulamalarına ve bilgisayarlı görme teknolojilerine bırakmaktadır. İnsan gücü ile yapılan işlerin önemli kısmını yerine getiren bu sistematik teknolojiler hayatımızda her alanda yerini almaktadır. Kamera ile görüntü alma ve görüntüyü işleme algoritmalarını kullanarak, karar verebilen sistemler ile nesne algılama, tanıma ve yer değiştirme yapabilen robot teknolojileri geliştirilmektedir. Bilgisayar ve makine görmesi kavramları bu gelişmeler ile birlikte oraya çıkan, gören ve gördüğünü işleyen makinelerin teknolojisidir. Gelişen teknoloji, farklı sensörlerin kullanılmasıyla robot kollarını etkin ve daha işlevsel hale getirmiştir. Bilgisayarlı görme, pek çok endüstriyel süreçte potansiyel anlamda uygulama alanına sahip olması nedeni ile robotik sektörüne önem kazandıran bir algılama teknolojisidir. Bu sistem nesneleri şekillerine, boyutlarına ve özelliklerine göre birbirinden ayırabilmek ve nesnelerin hangi konumda olduğunu tespit etmek gibi yetenekleri ile birçok uygulamada kullanılabilir. Bu çalışmanın amacı, hareketli bant sistemleri ve paketleme gibi birçok alanda malzeme tespit etme ve ayırmaya alakalı bir sistem oluşturmak ve bu sistemin başarısını gözlemlemektir. Bu sistemin hatalı ürünü ayırt etmesi veya ürünün özelliklerine göre doğru sınıflandırma yapması, ardından ürünü doğru konuma taşıması beklenmektedir.

Endüstride birçok alanda robot kollar yer almaktadır ve artık endüstriyel üretimin temel taşı haline gelmiştir. Yurtiçi veya yurtdışı firmaları tarafından geliştirilen robot kollar, kameralar ve yazılımlar da bulunmaktadır. Bu profesyonel sistemler endüstriyel otomasyon çözümlerine hitap etmektedir fakat ülkemizde bulunan firmalar bu tür çözümleri ancak yüksek maliyetlere katlanarak temin edebilmektedir. Bu çalışmada üretilen sistem ülkemiz işletmeleri için düşük bütçeli bir alternatif oluşturmaktadır.

2. YÖNTEM

Konveyörden gelen nesneler, Raspberry Pi üzerindeki kamera modülü (Camera Module, 2013) sayesinde tespit edilerek nesnelerin konum bilgisi elde edilmektedir. Elde edilen konum bilgisi Arduino Nano'ya aktarılır ve sonra Arduino Nano'ya bağlı servo motorların nesnenin olduğu konuma hareket etmesi sağlanır. Robotun yönlenmesiyle birlikte nesne yakalanır ve bu nesne istenilen kutuya aktararak işlem sonlandırılır. Nesnenin konum bilgisini alabilmek için Raspberry Pi üzerinde Python yazılımı sayesinde görüntü işleme yöntemleri kullanılmıştır. Görüntü işleme yöntemlerini kullanan bu sistem, kamera ile elde edilen görüntüdeki ilgili nesneyi algılayıp konum tespitini yapmaktadır. Daha sonra nesnenin konum bilgisi Arduino Nano'ya kablo vasıtasıyla aktarılmaktadır. Arduino Nano'ya gelen bilgiyi kullanarak robot manipülatörü servo motorlarının açılış değerlerini değiştirerek nesneye doğru yönlendirme işlemini yapmaktadır. Servo motorların açılış değerleri test edilerek hesaplanmıştır. Robot manipülatörü nesneyi bulunduğu konumdan aldıktan sonra istenilen yere aktarmak için servo motorlarını tekrardan harekete geçirmektedir. Böylelikle nesne istenilen konuma taşınabilmektedir. Şimdi çalışmada kullanılan malzeme ve teknolojileri inceleyelim.

Robot Kol

Eklemli robotlar, eklemlerinden dönebilmek özelliğine sahip olan robotlardır. Bu robotlarda, eklem sayılarını arttırdığımızda alan ve hareket kapasitelerini de arttırmış oluruz, bu sebeple hesaplamalar daha karışık hale gelmektedir. Temel olarak robotun eklemleri elektriksel motorlar ile yönlendirilebilir. Robotikte “eksen” kavramını, serbestlik derecesi gibi düşünebiliriz yani bir robotun eksen sayısı ile serbestlik derecesi doğru orantılıdır ve eksen sayısını arttırdığımızda daha geniş çalışma alanına sahip olur. Eklemler bağımsız hareket edebilme özelliği kazandırır ve böylelikle serbestlik derecesi ortaya çıkar. Projemizde kullandığımız robot kolun eksen sayısı 3'dür. X-Y-Z yönlerinde hareket edebilme kabiliyetine sahiptir.

Servo Motor

Güç sağlayabilen motorlar genelde belirli bir hıza göre dönebilen yapıda tasarlanırken, servo motorlar geniş bir hız kontrolüne sahip olarak tasarlanır (Servo Motor, 2008). Servo motorlar geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Robotikte en çok kullanılan motor çeşididir. Ayrıca radar sistemleri, nümerik kontrollü makine sistemleri, otomatik kaynak makineleri, basınç makinelerinde, paketleme makinelerinde, yarı iletken sargı üretim ünitelerinde, yüksek hızlı çip yerleştiricilerinde, anten sürücülerinde, tıbbi cihazlar v.b gibi yerlerde kullanılmaktadır.

Raspberry Pi

Donanım olarak projemizde kullandığımız materyallerden olan Raspberry Pi 4 Model B, kredi kartı büyüklüğünde bilgisayar özellikleri taşıyan kısaca mini bir bilgisayardır. Raspbian işletim sistemi kuruludur. Raspbian, Raspberry Pi'yi en iyi şekilde kullanabilmek için Debian'a dayalı ücretsiz olan bir işletim sistemidir. Bu işletim sistemi, Raspberry Pi'yi çalıştıran temel programları ve yardımcı programları içerir (Datasheet, 2019; Raspberry Pi, 2021).

Arduino Nano

Arduino Nano, küçük, kolay kullanışlı, esnek yazılım mimarisine sahip, açık kaynak kodlu, Atmega328 mikrokontrolörü kullanan, programlanabilir bir PCB karttır. Arduino IDE yazılımı ile geliştirme yapılabilir. Bağımsız bir şekilde çalışmalar yapılabilir. MacOS, Linux ya da Windows işletim sistemlerinde, Arduino IDE programı sayesinde programlanabilir (Özer, 2018; Arduino Nano, 2008).

Raspberry Pi Kamera Modülü

Kameranın üzerinde bulunduğu kartın boyutları 25x20 milimetredir ve kamera dâhil derinliği 9mm'dir. Hafif ve küçük olmasının yanında projemizde kullanacağımız mini bilgisayar olan Raspberry Pi için kullanımı kolay ve entegre edilmesi basittir. 5 MP çözünürlükte olan kamera üzerinde sabit odaklı tek lens bulunmaktadır (Camera Module, 2013). Kamera, 2592 x 1944 piksel statik resim çözünürlüğünü ve video çekimlerinde ise 1080p30, 720p60 ve 640x480p60/90 çözünürlüğünü desteklemektedir. Kamera modülü Raspberry Pi üzerinde çalışan tüm işletim sistemlerini desteklemektedir (Gonzalez & Woods, 2018; Szeliski, 2010).

Görüntü İşleme Teknikleri ve Özellik Çıkartma

Sensörler ve kameralar aracılığıyla, bilgisayar ortamına sayısal olarak aktarılan görüntü, daha basit formlara getirmek için bir takım görüntü işleme süreçlerinden geçirilmektedir. Yaygın kullanılan ve önemli görüntü işleme teknikleri aşağıda verilmiştir.

Eşik Belirleme tekniği, görüntü işleme alanında en yaygın kullanılan tekniklerden biridir. Özellikle nesneyle arka planı birbirinden ayırt etmek için kullanılmaktadır (O'Malley, 2005).

Kenar belirleme tekniği, gri seviyede anlamlı olan süreksizlikleri belirleyebilmek için en çok bilinen yaklaşımdır. Kenar, iki alan arasındaki sınıra uzanan bağlantılı tüm piksellerin kümesidir (O'Malley, 2005).

Kenar belirlemedeki hedefimiz, alınan görüntüdeki bilgiyi değerlendirip, önemli olmayan ve tanıma işlemlerinde zaman kaybettirebilecek bilgileri eleyerek yeterli düzeye indirmektedir.

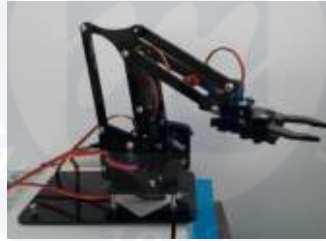
Birinci türevdeki genlik, görüntü için bir nokta kenarının algılanmasını sağlamak için kullanılır. Benzer biçimde ikinci türev için işaret ya karanlıkta ya da kenar ışık tarafından uzanan kenar pikselleri algılamak ve belirleyebilmek için kullanılır (O'Malley, 2005).

Dijital olan görüntülerde "görüntü frekansı" terimi, görüntünün üzerindeki piksellerin gri ton değerlerindeki değişimi ifade etmektedir. Frekans, görüntünün pikseller arasındaki geçiş esnasındaki parlaklık değeri değişim ölçüsüdür. Gri tondaki değerlerin küçük farklarla değişmesi, düşük frekansların çoğunlukta olduğunu göstermektedir. Ton farkı fazla olan bölgeler veya küçük detayları barındıran görüntülerde yüksek ya da düşük frekansları bastırmak veya öne çıkarmak mümkündür. Filtrelerin yüksek frekansları geçirmesi, görüntünün alçak frekanslı bileşenlerini zayıflamasına veya

ortadan kalkmasına neden olur ve böylelikle yüksek frekanslı olan alanları öne çıkartır. Yüksek geçiren filtreler görüntüyü daha fazla keskinleştirir Filtremenin en yaygın olan çeşitleri, düzgünleştirme (smoothing), ortalama (average), median, gauss filtreleridir. Kısaca filtreleme girdi görüntünün çıkışa kadar gördüğü işlemler sayesinde istenmeyen verileri atma işlemi olarak söyleyebiliriz.

Robot Kontrol Yöntemleri

Robot kolu, dönen ve kayan eklemlerle birbirlerine kenetlenmiş “uzuv” diye tabir edilen katı nesnelerden meydana gelen bir zincir oluşumdur. Zincirin bir ucu desteğe bağlı, diğer ucu ise serbesttir. Hareketlerin matematiksel olarak modellenmesi yani çözüm odaklı gereksinim hususları için robot kol kinematik modelinin oluşturulmasıdır. Kinematik hesabında kullanılan yöntemler ise düz ve ters kinematik olarak ikiye ayrılmaktadır [8]. Şekil 1’de projemizde kullanılan 3 eksenli eklemlili robot kol görülmektedir.



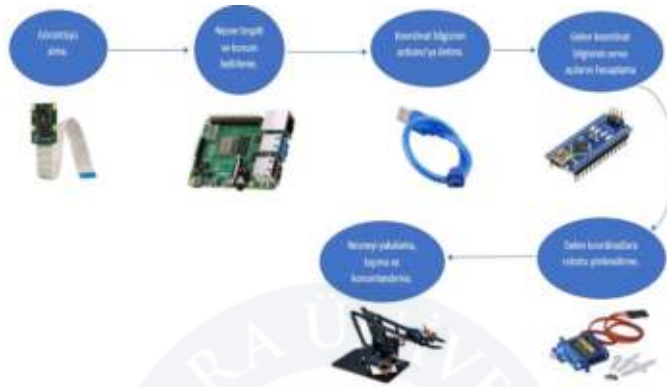
Şekil 1. 3 Eksenli, Eklemlili Robot Kol

Yazılımlar

Projemizin önemli bir kısmını oluşturan kodlama bölümünde Python dili kullanılmıştır. Yazılım geliştirme sürecinde Python diline entegre OpenCV (Open Source Computer Vision) kütüphanesinden yararlanılmıştır. OpenCV açık kaynak kodlu görüntü işleme kütüphanesidir. OpenCV, yüzleri ve nesneleri algılama ve tanımlama, videolarda insani eylemleri sınıflandırma, stereo kameralardan 3D nokta bulutları üretme, görüntüleri yüksek çözünürlükte birleştirme gibi alanlarda başarılı olarak kullanılabilir olduğu için projemiz için faydalı bir kütüphanedir.

Sistem Modelleme

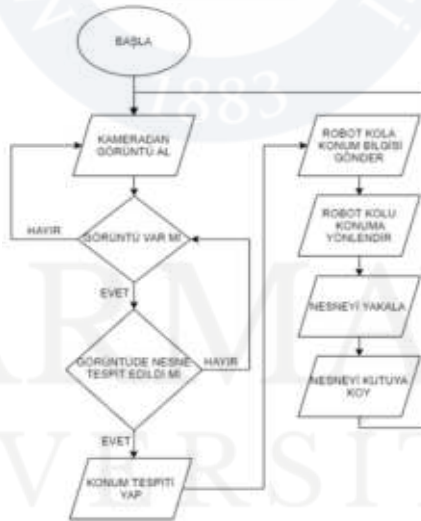
Çalışmanın tasarım kısmında, robot kol, Raspberry Pi ve kameranın konumlandırılması yapılmıştır. Raspberry Pi ve kamera arasındaki bağlantı birbirlerine çok yakın konumlandırılmıştır. Bu konumlandırma, konveyör bant üzerinde bir sopa ve tahta parçasından oluşan düzeneğe sağlanmıştır. Robot kol ise konveyör bantın döndüğü yöne doğru yerleştirilmiştir. Konveyör bandının hemen yanına konumlandığımız masanın üzerinde robot kol, güç kaynağı, invertör, robot kolun nesneyi aktaracağı kutu ve monitör bulunmaktadır. Şekil 2’de çalışmanın sistem modeli görülebilmektedir.



Şekil 2. Sistem Modeli

Sistem Algoritması

Donanım ve yazılım sistemi birbiriyle bütünleşik olarak çalışmaktadır. Bu çalışmaya ilişkin algoritmanın akış şeması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Sistemin akış şeması

3. BULGULAR

Sistemimizin ilk deneysel çalışmaları bilgisayarlarımızda, PyCharm (Pycharm, 2021; İslam, 2015) programı kullanılarak simülasyon denemeleriyle başlamıştır. PyCharm ile gerçekleşen denemeler Thonny IDE (Thonny, 2014) programıyla Raspberry Pi üzerinde denenmiştir. Görüntü yakalama deneylerinden sonra robot manipülatörü deneylerine başlanmıştır. İlk olarak robotumuzun iskelet

malzemelerinde montaj aşamasında oluşan yıpranmalar ve hatalı montajlardan dolayı robotu birden fazla kez söküp montaj işlemleriyle uğraşmıştır. Robotu hareket ettirme denemelerinde bazı testler gerçekleştirilmiştir. Robot kaskacının belirli bir yükseklikte yüksekliği hiç değişmeden ileri geri hareket etmesi, kaskacın nesne yakalaması ve havaya kaldırması, yakalanan nesneyi sağa veya sol tarafa bir yere konumlandırma ve son olarak robotun başlangıç konumu olarak belirlenen noktadan bitiş noktasına doğru hareket ettirilmek istendiğinde ileriye doğru her 1 cm'lik hareket etmesi için gerekli açı değerleri hesaplandı ve test edildi. Yapılan bu testler sonucunda robot hareket açıları tespit edilmiş oldu. Deneyisel çalışmalara, robot hareketlerini yani Arduino Nano ile görüntü yakalama Raspberry Pi'yi entegre etme çalışmaları ile devam edildi. Entegrasyonu tamamlanan sistemin son deneyisel çalışma aşamalarında ise robotu kamera ya göre uygun mesafelerde konumlandırma işlemi yapılmıştır. Ardından hareket halindeki konveyörden gelen malzemeyi robotun uygun bir şekilde yakalayabilmesi için gereken hız ve mesafe işlemleriyle projenin deneyisel çalışmaları tamamlanmıştır.

Raspberry Pi ile görüntü yakalama işlemleri sonrasında robotu hareket ettirme işlemleri ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Sistemi birleştirmek için Raspberry Pi yardımıyla algılanan konumun Arduino Nano ile iletişimini gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Aradaki iletişimi gerçekleştirmek için seri port ile haberleşme yöntemi kullanılmıştır. Seri port ile iletişim için Arduino Nano USB kablo kullanılmıştır. Arduino Nano Raspberry Pi'den gelen bilgiyi seri okuma yöntemleri ile okumakta ve veriyi bir değişkene atamaktadır.

Projemizde kullanılan robot manipülatörü 4 adet servo motor ile kontrol edilmektedir. Robotumuzda 9 gram servo adıyla bilinen SG90 servo motorları kullanılmıştır. Bu motorlar 4.8 – 6.0 V DC gerilim ile beslenmeli ve aşırı yükte maksimum 2.5 A çekmektedir. 4 adet servonun tam performanslı çalışabilmesi için 5V gerilimde toplam 10A yük çekebilecek bir güce ihtiyaç duymaktadır.

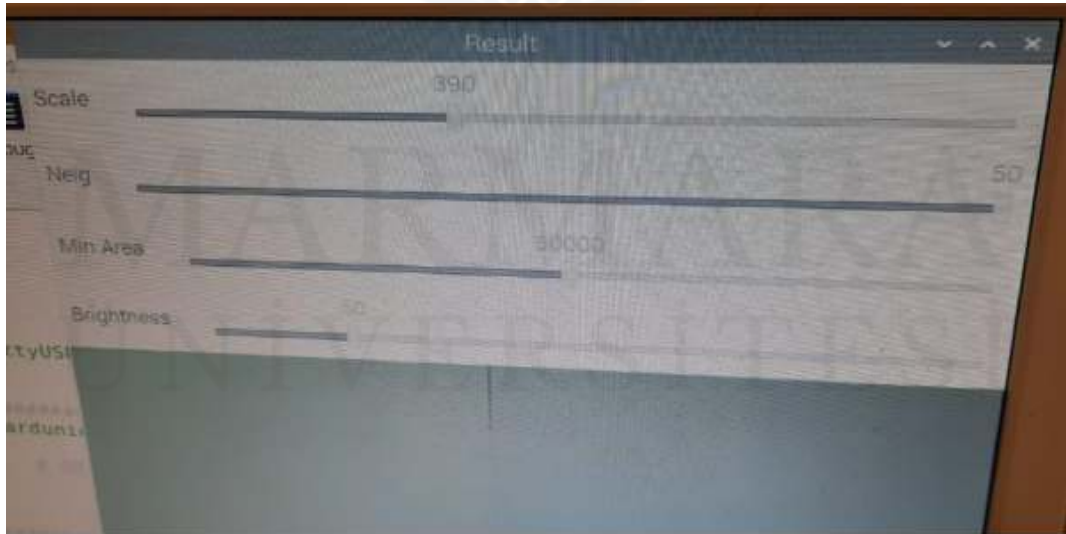
Projemizde bu güç, güç kaynağından sağlanmaktadır. Güç kaynağı ile servo motorlar arasındaki iletişimi, delikli bakır plaketin üstüne her servo için birer adet 2'li 3.50 mm toplamda 4 adet baskılı devre klemensleri, güç kabağından gelen pozitif ve nötr besleme uçları için 1 adet 5 mm baskılı devre klemensi kullanılmıştır. Delikli bakır plaket üzerine yerleştirilen klemenslere güç kaynağından gelen pozitif beslemeyi her klemense paralel bağlantı olarak klemenslerin bir ucuna pozitif, diğer uçlarına da seri bağlantı ile güç kaynağının nötr beslemesi plaketin alt kısmından lehimlenerek dağıtılmıştır. Son olarak klemenslere servoların + ve - uçları ile birlikte güç kaynağının +5V ve nötr uçları bağlanmış ve klemenslerin vidaları sıkılarak robot kolunun beslenmesi sağlanmıştır.



Şekil 4. Robot kolun nesneyi yakalaması evreleri

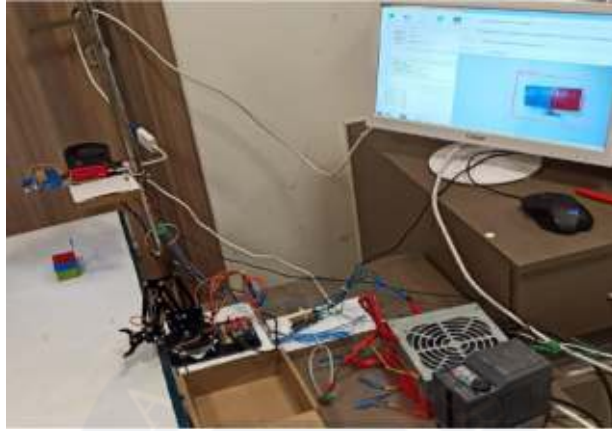
Proje tamamlandıktan sonra test aşamalarına geçilmiştir. Testlerde konveyörün çalışması, gelen nesnenin algılanması, nesne konum bilgisi alınması ve konum bilgisine göre robot yönlendirme testleri yapılmıştır. Robot kolun yapılan testlerdeki çalışma evreleri Şekil 4'te verilmiştir. Bu testlerin sonucuna göre bazı iyileştirmelere gidilmiştir. Konveyörden gelen nesneleri daha net algılayabilmesi için kamera görüntüsü parlaklık oranı iyileştirilmiştir. Konveyör hızı inverterdeki frekans değeriyle sağlanmaktadır. Bu bağlamda kameranın nesneleri algılayabilmesi için inverter frekans değeri yani konveyör hızı ayarlanmıştır. Robot manipülatörünün gelen konum bilgisine göre yönlendirilmesi işlemleri iyileştirilmiştir.

Projede tanımlamak istediğimiz nesne için özel haar-cascade sınıflandırıcısı oluşturulmuştur (Cascade Classifier, 2021). Bu sınıflandırıcıyı oluşturabilmek için pozitif ve negatif toplam 630 adet fotoğraf verisi kullanıldı. Bu verilerden pozitif verilerin hepsi cep telefonu kameraları ile çekilmişken, negatif bazı veriler internetteki fotoğraflardan elde edilmiştir. Sınıflandırıcı oluşturma işleminde tam istenilen sonuca ulaşılmamıştır. Bunun sebebi çok verimli bir sınıflandırıcı oluşturabilmek için 1000'den fazla negatif ve pozitif fotoğraf verisi gerekmektedir. Ayrıca bu verilerin birbirlerinden farklı ortam koşullarında çekilmiş olması ile veri çeşitliliği sağlanması önemlidir. Sınıflandırıcı oluşturma işleminde istenilen düzeyde sonuç elde edilemeyince Şekil 5'te gösterilen parametre verilerini değiştirerek bulunulan ortam koşulları ve kullanılan nesne tespitinde başarılı bir sonuç alınmıştır. Bu şekilde yüksek verimlilikte çalışmaya da amaca hizmet eden bir nesne tanıma işlemi gerçekleştirilebilmiştir.



Şekil 5. Kamera Görüntüsü Ayar Parametreleri

Ayrıca sistem, aynı anda birden fazla malzeme gelmesi durumunda bunu algılayabilmektedir. Kurulan ve çalışır durumdaki sistemin genel görünümü Şekil 6'da görülebilmektedir.



Şekil 6. Sistemin çalışan halinin genel görünümü

Bu çalışmada kullanılan robot kolu 3 eksenli bir robot olduğundan dolayı gelen malzemeyi yakalama işlemini robotun düz bir şekilde sağa sola hareket etmeden malzemeyi önüne geldiği anda ileri giderek alacak şekilde tasarlanmıştır. Eğer 6 eksenli bir robot kullanılırsa bu işlem sırasında robot kolu malzemeye her açıdan yaklaşabilecek yeteneğe sahip olacaktır. Robot kolumuz uzanabildiği en uzak mesafe 11 cm olduğundan 11 cm'lik bir çalışma alanı belirlenmiştir. Bu çalışma alanında her 1 cm'lik mesafe için deneysel çalışmalar sırasında kaydedilen açı değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Robot Kol Servo Motorlarının Çalışma Açıları

Yukarı ve İleri Servo Motorların Açı Değerleri	Robotun hareket etmesi için gereken mesafe (cm)
90	0
96	1
101	2
105	3
110	4
114	5
119	6
125	7
131	8
136	9
144	10
156	11

Bu çalışmada robot kolu hassasiyet derecesi kullanılan servo motorlar ve robot kolunun uzunluğundan kaynaklı olarak konum bilgisi 1 cm aralıklarla aktarılmıştır. Daha profesyonel bir sistemde tercih edilen robot kol, servo motorlar ve yapılacak test sayısı artırılarak daha hassas hareket kabiliyetine sahip olunabilir. Robot kolu ekranda nesne tespit edildikten sonra ilk konumu robota gönderecek şekilde tasarlanmıştır. Robotu konumlandırdığımız yer ile malzemenin ilk

tespit edilebildiği alan arasındaki git gel mesafesi ölçülmüştür. Robot koluna nesne konum bilgisi geldikten sonra nesnenin robotun önüne gelme süresi, bekleme süresi olarak robot yönetim kodlarına aktarılmıştır. Böylece robot nesne önüne gelene kadar bekleyecektir ve nesne, robot kolun önüne geldiğinde hızlı bir şekilde ileri yönelerek nesneyi yakalamaktadır. Burada bazı hatalar ile karşılaşmıştır. Bunlar, bazı değişken ortam koşullarında nesnenin kamerada geç algılanması ve bu sebeple robotun malzemeyi ıskalama ihtimalidir. Daha profesyonel bir çözüm olarak malzeme algılandıktan sonra robotun yanına gelmeden sensörler aracılığı ile aradaki malzemeyi ıskalama ihtimali yok edilebilir. Bir diğer çözüm ise robotun kamera da algılanan genişlik bilgisinin yanı sıra uzunluk bilgisi de gönderilen konumlara eklenebilir ve her uzunluk bilgisi için ayrı bir bekleme süresi hesaplanabilir. Bu şekilde robot kolunun malzemeyi yakalamadaki başarısızlık oranı düşürülebilir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Günümüzde görüntü işleme, nesne tanıma, robotik uygulamalar, ileri üretim yöntemleri ve dijital dönüşüm ile beslenen Endüstri 4.0 süreçleri, akıllı fabrikalarda faaliyet gösterecek yeni otomasyon teknolojileri endüstriyel robotların görev ve işlev tanımlarını oluşturmaktadır. Türkiye’de Endüstri 4.0’ın önemli alanlarından endüstriyel robotlar ve ileri robotik teknolojileri yer almaktadır. Kameralı görüntü alma ve görüntüyü işleme algoritmalarını kullanarak, karar verebilen sistemler ile nesne algılama, tanıma ve yer değiştirme yapabilen robot teknolojileri geliştirilmektedir. Bu alanlardaki çalışmalar ülkemize katma değer sağlayacaktır.

İleri robotik sistemlere görüntü işleme tabanlı nesne tespit uygulaması ve konum belirleme özelliklerini eklediğimizde yeni nesil akıllı otomasyon teknolojileri ortaya çıkmaktadır. Gelişen teknoloji, çeşit çeşit sensörlerin kullanılmasıyla robot kollarının etkin ve daha işlevsel hale getirmiştir. Görüntü işleme yöntemleri, yapay görme teknolojileri, veri toplama sistemleri ve ileri yapay zeka algoritmaları ile nesne tespiti yapmak, Endüstri 4.0’a geçiş sürecini hızlandırmaktadır. Ülke olarak bu teknolojilere global anlamda ayak uydurmak gerekmektedir. Projemizde yer alan donanım ekipmanları ileri robot sistemlerine göre uygun fiyatlı olmaktadır. Bu bağlamda daha düşük maliyetle de görüntü işleme tabanlı robot yönlendirme sistemleri yapılabilmektedir. Bu çalışmada hatalı ürünlerin ayıklanması, ürünlerin paketlenmesi, ürün sayım uygulamaları gibi birçok fabrika otomasyon uygulaması yapılabilmektedir. Sonraki çalışmalarında veri toplama, makine öğrenmesi ve ileri yapay zeka teknolojileri konusunda geliştirmeler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Servo Motor. (2008). https://tr.wikipedia.org/wiki/Servo_motor
- Datasheet (2019). Raspberry Pi 4 Model B <https://datasheets.raspberrypi.org/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>
- Raspberry Pi. (2021). Raspberry Pi 4. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- Özer, H. (2018). Arduino Nedir?. <https://halilozel1903.medium.com/arduino-nedir-722dbfda3fff>
- Arduino Nano. (2008). Arduino Nano (v.3) Datasheet <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>



- Camera Module. (2013). The Raspberry Pi Camera Module. <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/>
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). Digital Image Processing (Fourth Edition). Pearson. New York
- Szeliski, R. (2010). Computer vision: algorithms and applications. Springer Science & Business Media.
- O'Malley, M. (2005). MECH 498: Introduction to Robotics Inverse Manipulator Kinematics. <https://pdfcoffee.com/puma-robot-pdf-free.html>
- Pycharm (2021). <https://www.jetbrains.com/pycharm/>
- Islam, Q. N. (2015). *Mastering PyCharm*. Packt Publishing Ltd.
- Thonny. (2014). Thonny Python IDE for beginners. <https://thonny.org/>
- Cascade Classifier (2021). OpenCV Open Source Computer Vision. https://docs.opencv.org/3.4/db/d28/tutorial_cascade_classifier.html



MARMARA
ÜNİVERSİTESİ