

Görüntü İşleme Tabanlı Nesne Tespiti Kullanarak Eğik Atış Mekanizmalı Uzaktan Vuruş Sistemi Geliştirilmesi

Murat Özdemir¹, Coşku Kasnakoğlu¹

¹ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara
{st05120397, kasnakoglu} @etu.edu.tr

Özet

Bu bildiriye anlatılan proje, daha önceden belirlenmiş bir cismin görüntü işleme algoritmaları yardımı ile tespit edilmesi, bu cismin konum ve sisteme olan mesafe bilgilerinin RS 232 protokolü yardımı ile step motorlara gönderilmesi ve bunun ardından bu cismin eğik atış yardımı ile vurulmasıdır. Cismin konumunu ve mesafesini tespit etmek için sistemin önüne yerleştirilen kameradan alınan görüntüler MATLAB ortamında işlenmektedir. Mekanizmanın dönüş ve fırlatma kısımlarını kontrol etmek için ise step motorlar kullanılmıştır. Fırlatma işlemi basma yay ve elektromanyetik balata¹ yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

1. Giriş

Bu proje kapsamında geliştirilen sistem, daha önceden belirlenmiş bir cismin konumunu görüntü işleme ile belirlemede ardından eğik atış sistemi ile belirlenmiş hedefi vurmaktadır. Bu sistem geliştirilerek askeri operasyonlarda savunma amaçlı olarak kullanılabilir. Çünkü daha önceden belirlenmiş nesnelere daha güçlü bir fırlatma mekanizması yardımı ile vurulabilirler. Hedef tespiti ve vuruş konusunda farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan birisi savunma sistemi olarak görülen otomatik paintball sistemidir [1]. Bu bildiriye anlatılan projeden farkı ise fırlatma mekanizmasında basınç tüpü kullanılmaktadır ve hedef eğik atış ile değil dik olarak vurulmaktadır. Eğik atış kullanıldığı zaman hedefin sisteme olan uzaklığı hesaplanmak zorundadır. Fakat dik atış kullanıldığı zaman uzaklık hesaplaması yapılmasına gerek yoktur, çünkü fırlatma sistemi menzili içerisindeki cisimleri dikey olarak vurabilmektedir. Eğik atış sisteminin avataji ise özellikle 45 derece kullanıldığı zaman minimum güç ile maksimum mesafe katedilmektedir. Bu sebepten dolayı bu sistemlerin gerçekleştirilmesi, eğik atış tabanlı sistemlere göre daha sıradandır. Ayrıca son zamanlarda yangın söndürme robotları da kullanılmaktadırlar ve bu robotlar hem eğik hem dik atış ile çalışmaktadırlar [2]. Fakat bu robotlarda hedef yani yangın algılaması daha çok özel sensörler yardımı gerçekleştirilmektedir ve görüntü işleme pek kullanılmamaktadır.

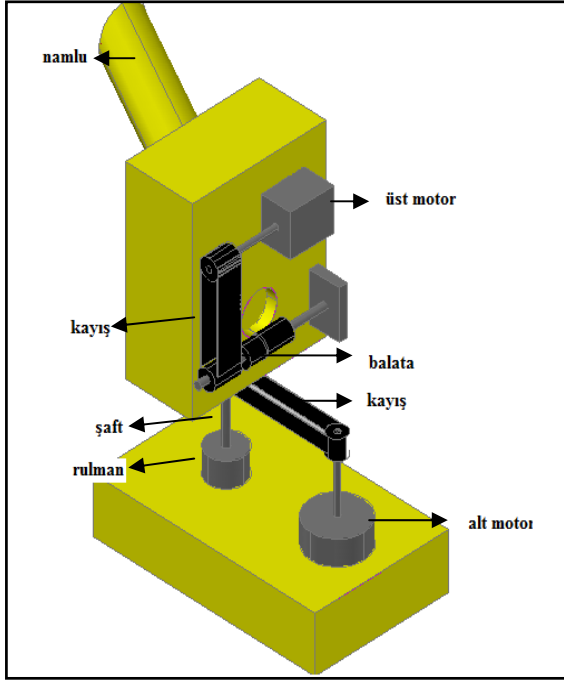
Bu bildiriye konu alınan projede hedef ve hedef konumu tespitinde görüntü işleme algoritmaları kullanılmaktadır. Mekanizma önüne entegre edilmiş kamera ile veriler

bilgisayara, MATLAB ortamına aktarılmaktadır. Görüntü işleme için MATLAB seçilmesinin temel nedeni MATLAB'ın bu konuda oldukça hızlı olmasıdır. Kamera yardımı ile MATLAB ortamına aktarılan görüntü siyah beyaza çevrilmektedir. Hedef daha önceden bilindiğinden, hedefin geometrik şekli ve görüntü üzerinde kapladığı alan kullanılarak hedef merkez koordinatları ve mekanik sisteme olan mesafe hesaplanmaktadır [3]. Hedefin daha önceden belirlenmiş olması sisteme olan mesafeyi tespit edilmesinde temel noktayı oluşturmaktadır. Ayrıca belirlenen hedef küre şeklindedir, bu durum her açıdan bakıldığında aynı dairesel görüntüyü elde etmemizi sağlamaktadır. Hedef olarak küre şekli yerine başka bir şekil kullanılsa idi farklı açılardan farklı görüntüler elde edileceğinden hedefin sisteme olan uzaklığının tespitinde daha farklı ve karmaşık algoritmalar kullanılması gerekecekti. Ayrıca kamera görüntü açısı içerisinde birden fazla cisim olması durumunda sistem çalışmayacaktır. Bunun önüne geçmek için hedef bulma algoritması birden fazla kez çalıştırılarak hedeflere birer numara verilebilir ve sırası ile bütün hedefler vurulabilir. Bir başka sorun ise eğer kamera görüntüsü içerisinde hedef tespit edilemezse algoritma hata vermektedir.

Hedefe ait veriler elde edildikten sonra MATLAB ortamından alınan veriler RS 232 protokolü kullanılarak sisteme gerekli hareketi verecek olan step motorlara aktarılmaktadır.

Gerekli dönüş ve fırlatma işlemini gerçekleştirilmesi için mekanik kısım iki ayrı parçadan oluşmaktadır. Ana gövde (alt kısım) olarak tabir edilen kısım, fırlatma mekanizmasının (üst kısmın), hedefi (topu) tam karşısına alana kadar dönmesini sağlamaktadır. Bunu sağlarken kamera görüntüsü geri besleme olarak kullanılmaktadır. Hedef tam olarak görüntü karesinin ortasına denk gelene kadar sistem gerekli yöne dönmektedir. Bu dönme işlemi step motor, rulman ve kayış yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Hedef fırlatma mekanizmasının tam karşısına denk geldiğinde fırlatma mekanizması devreye girmektedir. MATLAB ortamında otomatik olarak hesaplanan mesafe verisi kullanılmaktadır. Bu mesafe verisi belirli dönüşümlerle motor tur sayısına çevrilmektedir. Ardından fırlatma mekanizmasında namlu içerisine yerleştirilen basma yay, motor tarafından hesaplanan miktar kadar sıkıştırılarak gerekli enerji yay üzerine depolanmaktadır. Ardından yay ile motorun bağlantısını koparmak için elektromanyetik balata kullanılmıştır. Balatanın enerjisi kesildiğinde yay serbest kalmakta ve fırlatma işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Bu projede Şekil 1'de şematiği verilen mekanik sistem kullanılmıştır.

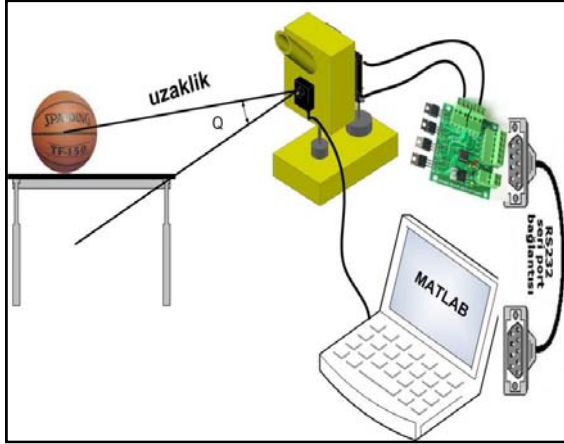
¹ İng. Electromagnetic Clutch



Şekil 1: Mekanik sistem

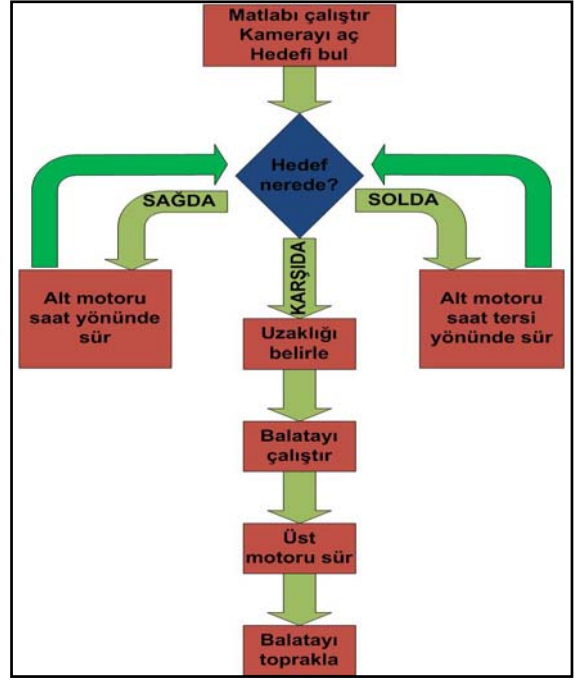
2. Sistem Çalışma Mekanizması

Sistem basitçe Şekil 2'de gösterildiği gibi özetlenebilmektedir.



Şekil 2: Sistem çalışma mekanizması

Mekanik sistemin önüne yerleştirilen kameradan alınan görüntüler MATLAB ortamında gerçek zamanlı olarak işlenmektedir. Burada kurulan algoritmalar ile hedefin merkez koordinatları ve piksel sayısı hesaplanmaktadır. Hedef daha önceden bilindiğinden piksel sayısı kullanılarak hedefin sisteme olan uzaklığı kolayca belirlenmektedir. Koordinat verileri kullanılarak, ana gövdedeki step motor yardımıyla fırlatma mekanizması, hedef tam olarak kameranın karşısına gelene kadar döndürülmektedir. Ardından hesaplanan uzaklığa göre namlu içerisindeki yay sıkıştırılmakta ve hedef yayın serbest bırakılması ile vurulmaktadır. Sistem akış diyagramı Şekil 3'te gösterilmektedir.



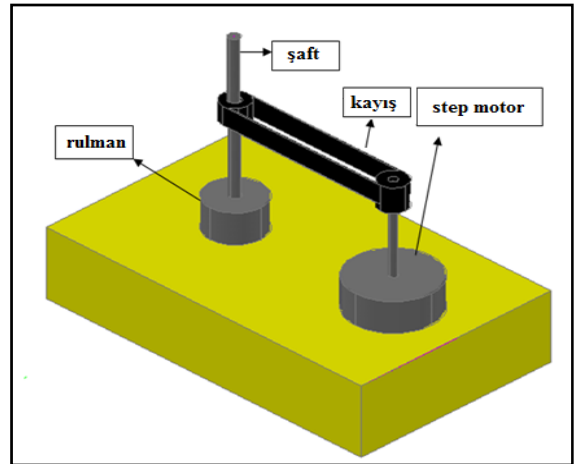
Şekil 3: Sistem akış diyagramı

3. Mekanik Sistem

Şekil 1'de görülen mekanik sistem iki ayrı kısımdan oluşmaktadır. Sistemin alt kısmında görülen ana gövde kısmı, onun üzerine yerleştirilen fırlatma mekanizması bu iki kısmı oluşturmaktadır.

3.1. Ana Gövde

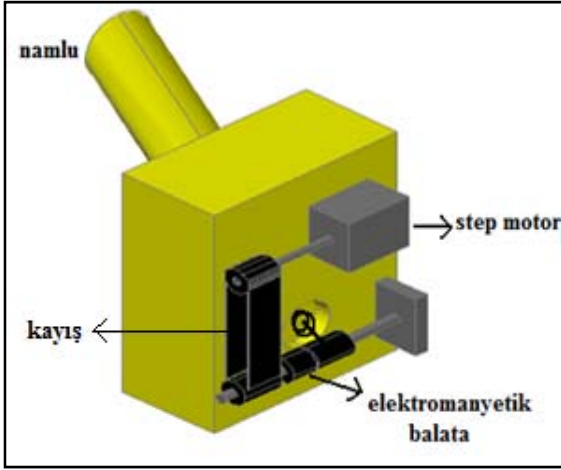
Şekil 4'te görülen ana gövdenin amacı şaft üzeri yerleştirilen fırlatma mekanizmasının hedefe doğru yönelmesini sağlamaktır. Bilgisayar tarafından motor sürücü devresine gönderilen bilgi ile step motor gerekli hareketi kayış yardımı ile rulmana iletmektedir. Rulman içerisine yerleştirilmiş olan şaft yardımı ile de bu hareket fırlatma mekanizması gövdesine aktarılmaktadır. Hareketli parçalarda motor olarak step motor tercih edilmesinin nedenleri ise, step motorların geri beslemeye ihtiyaç duymaması, dönmediği zamanlarda pozisyonunu koruması ve DC motorlara göre daha yüksek tork sağlamasıdır [4].



Şekil 4: Ana gövde

3.2. Fırlatma Mekanizması

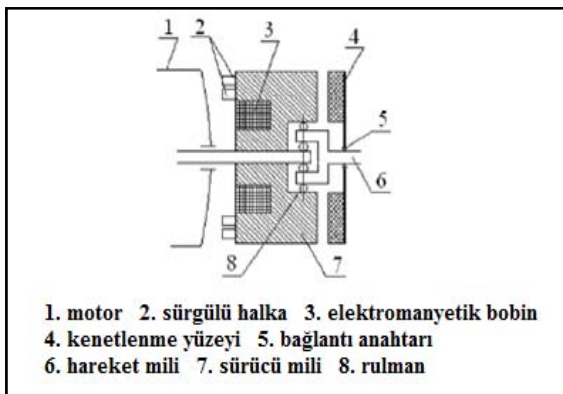
Ana gövde tarafından fırlatma mekanizması hedefe doğru döndürüldükten sonra fırlatma işlemi başlamaktadır. Fırlatma mekanizması Şekil 5'te görülmektedir. Namlu içerisinde basma yay bulunmaktadır. Step motor tarafından uç kısmından çekilen yay fırlatma için gerekli enerjiyi biriktirmektedir. Ana gövdede olduğu gibi bilgisayar tarafından hesaplanan mesafe verisi step motor için adım bilgisine çevrilmekte ve ardından motor sürücü devresine gönderilmektedir. Step motor yayın sıkıştırılma işlemini gerçekleştirmektedir. Fakat bunu yaparken elektromanyetik balatadan yardım almaktadır.



Şekil 5: Fırlatma mekanizması

3.2.1. Elektromanyetik Balata

Bu projede motor tarafından sıkıştırılan yayın serbest bırakılması için elektromanyetik balata kullanılmıştır. Şekil 6 balatanın çalışma mekanizmasını göstermektedir.



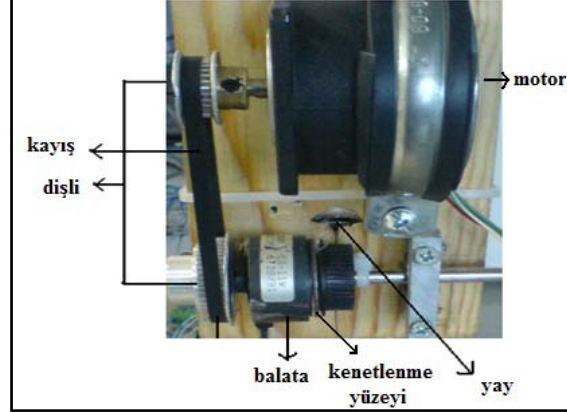
Şekil 6: Elektromanyetik balata [5]

Balata üzerindeki sürgülü halkalara² voltaj uygulanarak elektromanyetik bobinler aktif hale getirilmektedir. Bu bobinler elektromanyetik bir alan oluşturmaktadır. Bu alan sayesinde 4 numaralı kenetlenme yüzeyi³ rulman sayesinde

² İng. Sliding Ring

³ İng. Clamp Plate

sürücü miline doğru çekilmektedir. Bobinlere yaklaşık 24V uygulanarak bu iki kısım arasında bir sürtünme yüzeyi oluşturulmaktadır. Böylece motor tarafından sürücü miline aktarılan tork sürtünme yüzeyi yardımı ile hareket miline aktarılmaktadır [3].

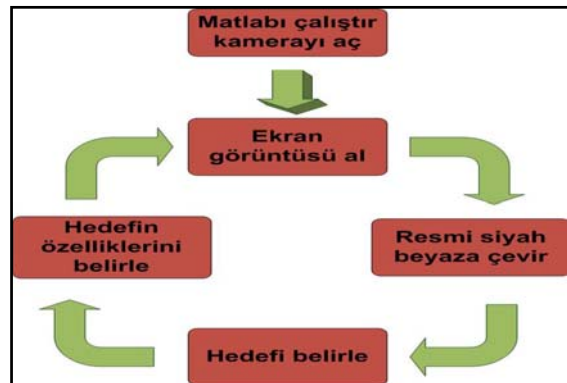


Şekil 7: Fırlatma mekanizması tasarımı

Bu projede ise sürücü miline bir dişli monte edilmiştir. Motordan alınan hareket kayış yardımı ile balataya aktarılmaktadır. Balata bobinlerine enerji verilerek balata aktif hale getirilmiştir. Aktif hale getirilen balata kenetlenme yüzeyini kendisine doğru çekmektedir. Böylece motorun hareketi kenetlenme yüzeyine aktarılmaktadır. Yay sıkıştırmak için uç kısmına bir plaka konulmuştur. Bu plaka bir halat yardımı ile çekilerek yay sıkıştırılmaktadır. Bu halat ise kenetlenme yüzeyine monteli makara üzerine sarılmaktadır. Yayın sıkıştırma işlemi bittikten sonra balata enerjisi kesilmekte ve serbest kalan kenetlenme yüzeyi ve halat yayın da serbest kalmasını ve merminin fırlatılmasını sağlamaktadır. Böylece hedef eğik atış sistemi ile vurulmuş olmaktadır.

4. Görüntü İşleme ve Mesafe Tespiti

Hedefin konumunu belirlemek için görüntü işleme algoritmaları kullanılmaktadır. Görüntü işleme için MATLAB tercih edilmiştir, çünkü MATLAB görüntü işleme konusunda oldukça hızlı ve kullanımı kolay bir programdır. Şekil 8 görüntü işlemede kullanılan akış şemasını göstermektedir.



Şekil 8: Görüntü işleme akış şeması

MATLAB çalıştırıldıktan sonra kamera açılmaktadır. Kamera olarak çözünürlüğü 320x240 olan webcam kullanılmıştır. Düşük çözünürlük kullanmanın avantajı görüntüyü tararken daha az zaman kaybedilmesidir. Böylece sistem olabildiğince hızlanmaktadır. Tek dezavantajı ise düşük çözünürlük olduğundan dolayı mesafe tespitinde piksel sayısından sapmanın biraz fazla olmasıdır. Bu sorun da kullanılan hedefin yeterli büyüklükte olması ile çözülmüştür. Kameradan alınan görüntüler Şekil 9'da görüldüğü gibi resim olarak kullanılmaktadır. Alınan bu resimler öncelikle gri seviyeli⁴ resme ardından siyah beyaza çevrilmektedir. Bunun amacı, siyah beyaz resim üzerinde çalışmanın hem daha kolay hem de daha hızlı olmasıdır. Siyah beyaza çevirme esnasında ortam ışıklandırmasına göre belirli bir eşik değeri kullanılmaktadır. Ardından piksellerin renk değerlerinin tersi alınmaktadır. Bunun nedeni hedefin beyaz olarak elde edilmek istenmesidir. Üzerinden çalışılacak siyah beyaz resim elde edildikten sonra hedef tespit aşamasına başlanmaktadır. Fakat ortamda meydana gelen gürültülerden kurtulmak için filtre uygulanmaktadır. Tuz biber gürültülerini⁵ yok etmek için medyan filtre⁶ uygulanmaktadır. Medyan filtre bir pikselin ve komşularının renk değerlerini küçükten büyüğe sıralamakta ve tam ortaya denk gelen piksel değerini yeni piksel değeri olarak kabul etmektedir. [6]

Tablo 1. Medyan filtre

3, 3, 3, 4, 4, 5, 5, 5, 9					
5	3	4	5	3	4
3	9	5	3	4	5
3	4	5	3	4	5

Kullanıma hazır görüntü elde edildikten sonra hedef belirleme aşamasına geçilmektedir. Hedef bir top olduğu için yuvarlak nesne belirleme algoritması kullanılmaktadır. Öncelikle birbiri ile bağlantılı nesnelere⁷ belirlenmektedir. Bu nesnelere içerisinde çok küçük gürültü sayılabilecek nesnelere olduğundan belirli piksel sayısından daha az piksel sayısına sahip olan nesnelere elenmektedir. Ardından kalan nesnelere arasından yuvarlak olan hedef bulunmaktadır. Bu hedefi bulurken nesnelere dış merkezlilik⁸ özellikleri kullanılmaktadır. Böylece hedef bulunmaktadır. Şekil 10 bulunan hedefi işaretlenmiş olarak göstermektedir. Hedef bulunduğundan sonra alt motora hedefe doğru dön komutu verilmektedir. Motor bu dönüşü tamamladıktan sonra ikinci resim karesi alınmaktadır. 1 saniyede 10 resim karesi alınmaktadır. Bu sayı daha fazla artırılmamaktadır, çünkü sistem daha hızlı çalıştığı zaman step motor bu hıza cevap verememektedir.

⁴ İng. Grayscale

⁵ İng. Salt and Pepper Noise

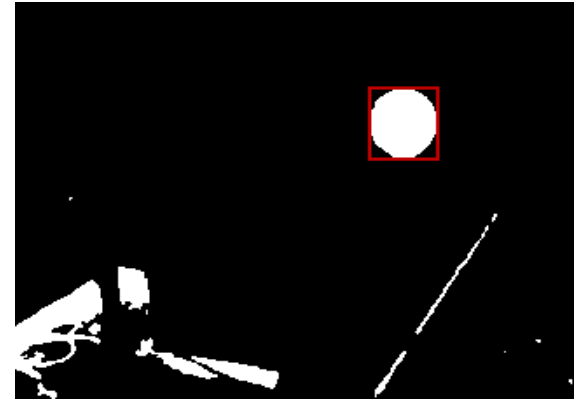
⁶ İng. Median Filter

⁷ İng. Connected Components

⁸ İng. Eccentricity



Şekil 9: Kameradan alınmış resim karesi

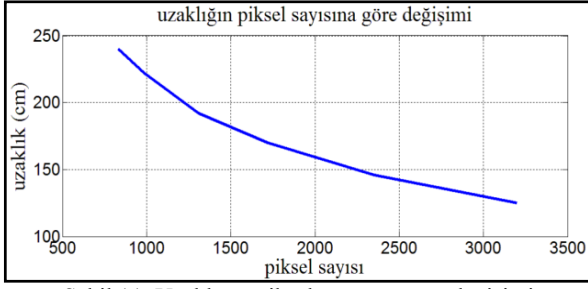


Şekil 10: Tespit edilmiş ve işaretlenmiş hedef

Hedef bulunduğundan sonra step motorlara gerekli bilginin gönderilmesi için hedefin düşey merkez koordinatı belirlenmektedir. Video için kullanılan pencere 320 x 240 boyutlarında olduğu için eğer hedef tam olarak fırlatma mekanizmasının karşısında ise merkezi yatayda yaklaşık olarak 160. pikselde olmaktadır. Bu bilgi referans girişi olarak kullanılmaktadır. Bu bilgi ana gövdedeki step motor için gereklidir.

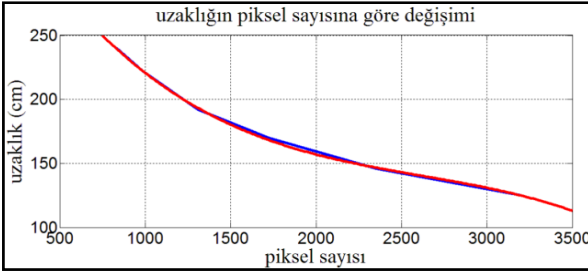
Fırlatma mekanizması için ise mesafe bilgisine ihtiyaç vardır. Hedef daha önceden belirlendiği için hedefin görüntüdeki piksel sayısı uzaklık bulmak için kullanılmaktadır. Hedef kameraya yaklaştığında piksel sayısı artmakta uzaklaştığında ise azalmaktadır. Fakat bu artış ve azalış lineer bir şekilde gerçekleşmemektedir. Bu sorunu aşmak için öncelikle step motorun farklı tur sayılarında ne kadar uzaklığa mermiyi fırlattığını ölçmek için testler yapılmıştır. Ayrıca hedefin mesafeye göre piksel değişimi de ölçülmüştür. Böylece piksel sayısına bakılarak mesafe tespit edilmekte, bu mesafe kullanılarak da step motor için tur sayısı belirlenmektedir. Böylece otomatik olarak farklı mesafelerdeki hedefler vurulabilmektedir.

Yapılan testler sonucu elde edilen veriler MATLAB ortamında grafik olarak çizdirilmekte ardından bu grafiğe en yakın denklemi elde etmek grafik ekranında araçlar sekmesinden "Basic Fitting" sekmesi kullanılmaktadır. Buradan elde edilen grafik için en yakın denklem elde edilir.



Şekil 11: Uzaklığın piksel sayısına göre değişimi

Piksel sayısı MATLAB tarafından hesaplanmaktadır. Yapılan testler sonucunda uzaklığın piksel sayısına göre değişimi Şekil 11'de gösterilmektedir.



Şekil 12: "Basic Fitting" sonrası uzaklık grafiği

Şekil 12'de ise en yakın eğri uydurulmaktadır. Bu eğrinin denklemi asıl eğrinin denklemi olarak varsayılmaktadır. Bu eğri denklemi de MATLAB tarafından aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} p1 &= -1.0202e-008 \\ p2 &= 8.0064e-005 \\ p3 &= -0.23251 \\ p4 &= 383.38 \end{aligned} \quad (1)$$

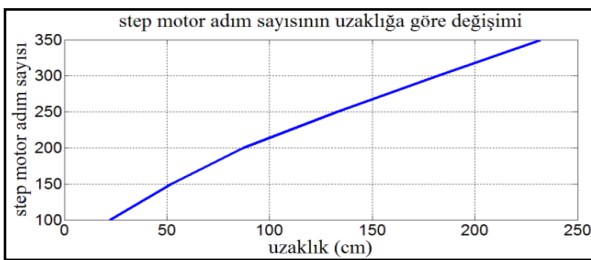
$$\text{uzaklık} = p1 * x^3 + p2 * x^2 + p3 * x + p4$$

'x' değeri görüntü işleme algoritması tarafından hesaplanan piksel sayısıdır. Sonuçta ise uzaklık değeri elde edilmektedir.

Elde edilen uzaklık değerine göre step motor adım sayısı hesaplanmaktadır. Yayda biriken enerji Denklem 2'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

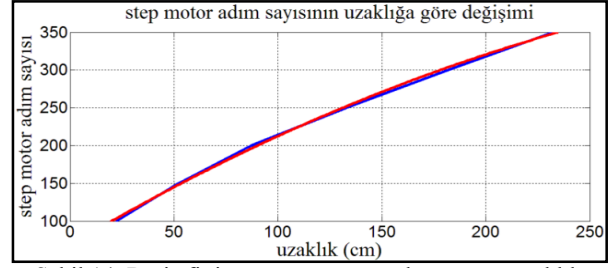
$$\text{Enerji} = \frac{1}{2} kx^2 \quad (2)$$

Buradan görüldüğü gibi yayda depolanan enerji yayın sıkışma miktarının karesi ile doğru orantılıdır. Ayrıca sistem ideal olmadığından ve sistem üzerinde sürtünmeler olduğundan step motor adım sayısı da uzaklık hesabında olduğu gibi yapılan testler sonucu elde edilmiştir. Şekil 13'de elde edilen grafik görülmektedir.



Şekil 13: Motor adım sayısı-uzaklık ilişkisi

Elde edilen bu grafik için de "Basic Fitting" uygulandıktan sonra Şekil 14 ve Denklem 3 elde edilmektedir. Bu işlem sonucunda dördüncü dereceden bir polinom elde edilmiştir.



Şekil 14: Basic fitting sonrası motor adım sayısı-uzaklık ilişkisi

$$\begin{aligned} p1 &= 1.253e-005 \\ p2 &= -0.0065673 \\ p3 &= 2.1151 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{adım} = p1 * t^3 + p2 * t^2 + p3 * t + 56,45$$

't' değeri Denklem 1 ile elde edilen uzaklık değeridir.

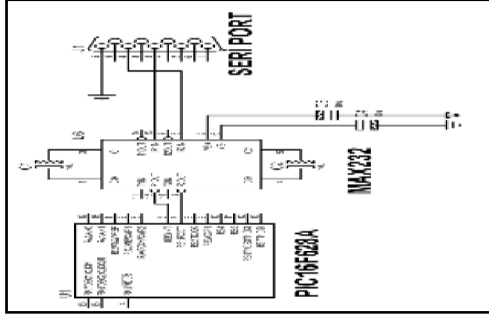
Özetle hedef nesnenin piksel sayısı kurulan algoritma ile hesaplanmaktadır. Denklem 1 ve piksel sayısı kullanılarak hedef ile sistem arasındaki uzaklık tespit edilmektedir. Ardından Denklem 2 ve uzaklık değeri kullanılarak step motor adım sayısı elde edilmektedir. Bu adım sayısı kullanılarak merminin topu vurması sağlanmaktadır.

5. Haberleşme ve Elektronik Devre

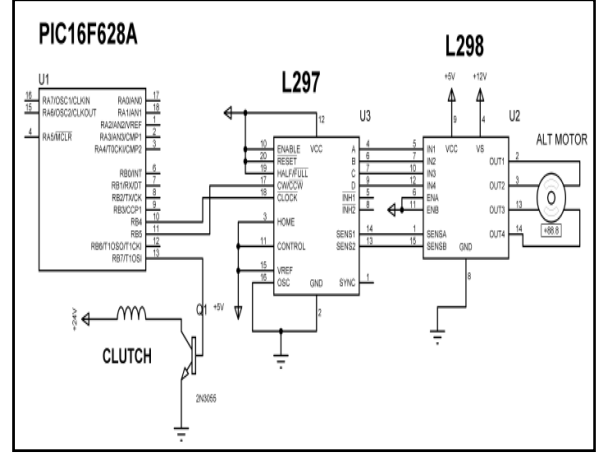
Görüntü işleme sonucu elde edilen veriler kullanılarak motorlar ve elektromanyetik balata sürülmektedir. Bunun için öncelikle bilgisayardan alınan veriler RS 232 yardımıyla motor sürücü devrelerine aktarılmaktadır. RS 232 ile motor sürücü devrelerinin arasına ise MAX 232 ve PIC yerleştirilmektedir. Şekil 15'te RS 232 haberleşme devresi görülmektedir.

Seri porttan alınan veriler MAX 232 aracılığı ile PIC'e iletilmektedir. PIC ise motor sürücü devreleri için gerekli olan giriş sinyallerini üretmekte kullanılmaktadır. Algoritmalar MATLAB ortamında yazıldığından PIC sadece transfer aracı olarak kullanılmaktadır.

Mekanik aksamı kontrol etmek için kullanılan step motorlar sürücü devresine ihtiyaç duymaktadır. Step motor sürücü devresinde motor sürücü entegresi L297 ve yüksek akım sağlamak için L298 entegresi kullanılmıştır. Şekil 16 L297 ve L298 entegreleri arasındaki bağlantı şemasını göstermektedir.



Şekil 15: RS 232 haberleşme devresi

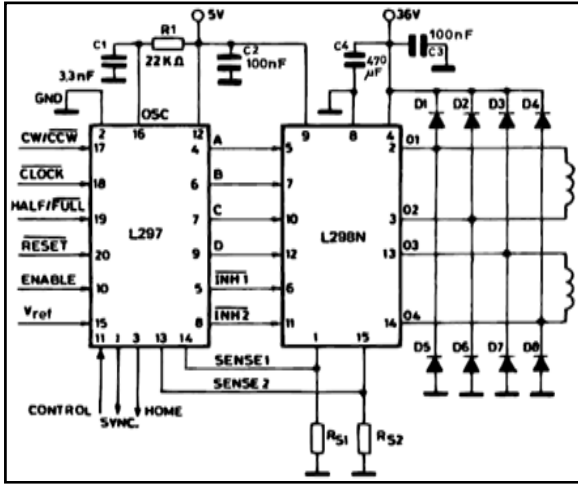


Şekil 17: Motor ve balata sürücü devresi

6. Sonuç

Hedef bulma ve hedefi vurma sistemleri farklı amaçlara hizmet edebilmektedir. Topla oynanan oyunlarda topun fırlatılması, yangınlara robotlar ile müdahale edilmesi ve savunma sistemlerinde belirtilen hedefin vurulması başlıca kullanım alanlarıdır. Bu bildiriye bahsedilen proje ise askeri savunma sistemleri için gerçek zamanlı otonom çalışan bir prototip olarak görülebilmektedir.

Görüntü işleme algoritmaları ile hedef tespiti yapılmaktadır. Step motorlar ile sisteme gerekli hareket kabiliyeti sağlanmaktadır. Bilgisayar ile devreler arasında haberleşme ise RS 232 protokolü ile sağlanmaktadır. Böylece belirlenen hedef eğik atış sistemi ile vurulmaktadır. Şekil 18 sistemin rastgele bir başlangıç pozisyonunu göstermektedir.



Şekil 16: L297 ve L298 entegreleri bağlantı şeması [7]

Ayrıca elektromanyetik balatayı sürmek için 2N3055 transistörü kullanılmaktadır. Üst motor fırlatma mekanizması yayını sıkıştıracağı zaman PIC tarafından transistör sürülmektedir. Yay sıkıştırma işlemi tamamlandığı zaman transistöre uygulanan voltaj kesilmekte ve balata pasif hale gelmektedir. Böylece mermi fırlatılmış, hedef vurulmuş olmaktadır. Şekil 17 motor ve balata sürücü devresini göstermektedir.



Şekil 18: Sistem başlangıç pozisyonu

7. Kaynakça

- [1] Zhiqiang Wu, William Keatts, Asad Davari, “Low-Cost Motion Detection and Counter Attacking Test Bed for Swarm UAVs”, System Theory, 2005. SSST '05. Proceedings of the Thirty-Seventh Southeastern Symposium, 2005
- [2] Ting L. Chien, Kuo Lan Su and Sheng Ven Shiau, “Develop a Multiple Interface Based Fire Fighting Robot”, Mechatronics, ICM2007 4th IEEE International Conference, 2007
- [3] Serap Çakar, Cemil Öz, Nilüfer Yurtbay, “Video Görüntüsü Üzerinde Cisim Hareketlerini Saptama, İzleme Ve Hedef Belirleme”, 3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Ankara, 2003
- [4] N. Mort, M.F. Abbod, D.A. Linkens “Comparative Study of Fuzzy Dc Servo Motors And Stepper Motors For Mechatronic Systems”, IEE Colloquium on Innovations in Manufacturing Control Through Mechatronics 1995
- [5] Jian Wu, Qiang Li, “Energy Saving Analysis Using Pulse Width Modulation Techniques Controlling Electromagnetic Clutch in EPS System”, Information Processing, 2009. APCIP 2009. Asia-Pacific Conference , 2009
- [6] Richard E. Woods, Rafael C. Gonzalez, “Digital Image Processing”, Cilt: 3 s: 156, 2008
- [7]“L298D Datasheet”
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/2/052daje928cw7pc0uqslipyryppy.pdf>