

GÖRME TABANLI MOBİL ROBOT İLE FARKLI RENKLERDE NESNELERİN GERÇEK ZAMANLI TAKİBİ

Mustafa Serter UZER*, **Nihat YILMAZ** ve **Mehmet BAYRAK****

*Elektronik Teknolojisi Bölümü, Iğın Meslek Yüksekokulu, Selçuk Üniversitesi, Konya

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Mevlana Üniversitesi, Konya

msuzer@selcuk.edu.tr , nyilmaz@selcuk.edu.tr, mbayrak@mevlana.edu.tr

(Geliş/Received: 15.12.2009; Kabul/Accepted: 22.10.2010)

ÖZET

Bu çalışmada, görme tabanlı mobil robot ile farklı renklerde nesnelere gerçek zamanlı takibi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen robot; keşif, güvenlik ve gözlem alanlarındaki faaliyetlerde de kullanılabilecek özelliklere sahiptir. Bu görme tabanlı mobil robotun, sadece görüntü işleme ve robotik görme teknikleri kullanılarak otonom bir şekilde hareket ettirilmesi hedeflenmiştir. Farklı renklerde (kırmızı, mavi, yeşil) nesnelere takip edebilen robotun gerçek zamanlı işlemeye uygun olacak şekilde, tepki verme süresi 96 ms ile 106 ms aralığındadır. Geliştirilen iki farklı görüntü işleme algoritması ile mavi ve kırmızı renkli nesnelere için % 100, yeşil renkli nesnelere için ise % 60' lık bir tanıma başarısı sağladığı deneylerle görülmüştür. Doğrusal ve dairesel yörüngelerde renkli nesne takibi deneylerinde, ortalama 5,7 cm/s hızda maksimum 4,5 cm' lik sapma tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mobil robot, görme, görüntü işleme, gerçek zamanlı kontrol, nesne takibi.

A REAL-TIME TRACKING APPLICATION OF DIFFERENT COLOURED OBJECTS WITH A VISION BASED MOBILE ROBOT

ABSTRACT

In this study, a real-time tracking application of different colored objects with a vision based mobile robot has been implemented. The developed robot has some features that can be used in the fields of exploration, security and observation. This vision based mobile robot is autonomously operated by using image processing and robot vision techniques. The response time of the robot that can track different color (red, blue and green) objects is between 96 ms and 106 ms as suitable for real time processing. By two different developed algorithms, for blue and red color objects a %100, and for green objects a %60 recognition success is seen with experiments. In colorful object tracking experiments in linear and circular orbitals, for an average value of 5.7 cm/s speed, a 4.5 cm deviation as maximum is confirmed.

Key words: Mobile robot, vision, image processing, real-time control, object tracking

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde insanların sürekli yer değiştirmesi ve hareket halinde olmasından dolayı sabit görevleri yerine getiren robotların beklenildiği kadar faydalı olmadığı görülmüş ve bu yüzden daha kullanışlı mobil robotların tasarlanması ve üretilmesi amaçlanmıştır. Mobil robotların çevrelerini tanıması, buldukları ortamdan bilgi toplaması ve bu bilgiler doğrultusunda karar verme mekanizmalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Robotların bu

gereksinimlerini karşılayabilmeleri için çevrelerini algılayabilecek farklı özellikteki sensörlere ihtiyaç duyulmuştur [1]. İnsanın, çevresini keşfetmesi ve hareket edebilmesi için ihtiyaç duyduğu görme duyusunu kamera kullanımı sayesinde mobil robotlara aksettirilmesiyle, görme tabanlı mobil robot çalışmalarının önü açılmıştır. İnsan gözü ile nesnelere fark edilmesine benzer şekilde, nesnelere bize olan uzaklıklarının, büyüklüklerinin ve hareketlerinin, kamera kullanımı yoluyla sağlanmasına yönelik çalışmalar son yıllarda ağırlık

kazanmıştır. Bu amaca yönelik olarak gerekli olan görüntünün işlenmesi çok vakit aldığından çoğu robot sisteminde kameranın dışında robot kontrolleri için görsel olmayan sensörler de kullanılmaktadır. Ancak, nesnelerin robota olan uzaklıklarının tespiti için bu sensörlerden çok sayıda kullanılmasına duyulan ihtiyaç, maliyetin artması açısından bir dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, pratikte robot kontrollerinde kamera kullanılması daha avantajlı bir duruma geçmiştir. Kamera kullanımıyla elde edilen diğer bir üstünlük ise sadece nesnelerin bize olan uzaklıklarının tespiti değil aynı zamanda nesnelerin renkleri, desenleri ve şekilleri hakkındaki bilgilerin de beraberinde elde edilebilmesidir [2].

Mobil robotlar, yapıları ve kullanıldıkları yerlere göre sırasıyla; Kara robotları, Hava robotları, Su robotları ve Uzay robotları olmak üzere 4 ana grup altında incelenebilir [3]. Kara robotları kullanıldıkları yere göre bina içi ve bina dışı olarak iki farklı gruba ayrılabiliriz [4]. Bina içinde genelde taşıma, servis, güvenlik veya temizlik robotu olarak kullanılırlar. Bina dışında ise, bir afet sonucu ortaya çıkan enkazda arama-tarama-kurtarma işlerinde, mayın tarama ve bomba imha görevlerinde, insan sağlığını tehlikeye düşürebilecek ortamlarda yapılacak işlerde kullanılmaktadırlar [5,6]. Hava robotları, daha çok askeri ve sivil amaçlı keşif görevlerinde kullanılırlar. İnsansız casus uçakları veya bombardıman uçakları birer robot uçaktır [7]. Su robotları ise hem su üstü hem de su altı faaliyetler için kullanılırlar. Su üstü türleri genelde deniz taşımacılığında kullanılan otomatik seyrüsefer sistemlerinden oluşur. Su altı robotları ise genellikle deniz ve okyanusların derinliklerini keşfetmek amaçlı kullanılmaktadırlar [8,9]. Uzay robotları; uzayda yani yerçekimsiz bir ortamda kullanılmak üzere tasarlanmış olan robotlardır [10].

Mobil robotları kontrol kabiliyetlerine göre de; telerobotlar, yarı otonom robotlar ve otonom robotlar olarak gruplandırmak mümkündür. Telerobotlar, kendi kendilerine hareket kabiliyetleri olmayan ve hareket etmek için bir operatörün komutlarına gereksinim duyan mobil robotlardır. Bu tür robotlar genellikle insanlar için zor ve tehlikeli çalışma şartlarında kullanılırlar [11,2]. Yarı otonom robotlar, kendi kendilerine bazı görevleri yerine getirebilen ancak temelde yine de bir operatörün kılavuzluğuna ihtiyaç duyan mobil robotlardır [12]. Sensör bilgilerinin toplanması, operasyon esnasında kullanılacak özelliklerin bu bilgilerden elde edilmesi, temel hareket fonksiyonlarının gerçekleştirilmesi, arıza durumunda veya acil bir durumda sistem davranışlarının sağlanması ve daha önceden standart haline getirilmiş davranış paketlerinin uygulanması yarı otonom robotların yerine getirebilecekleri görevlerden bazılarıdır [13]. Otonom robotlar ise; kendisine verilen bir görevin

başarılması için alınması gereken kararların hepsini kendisi alan ve yapılması gereken tüm işleri de yine kendisi yapan robotlardır. Bu durumda operatör sadece robota yapması gereken görevi bildirir veya tek bir görev için robotu o yönde programlar [2, 14, 16, 17].

Bu çalışmada, görme tabanlı mobil robot ile farklı renklerde nesnelerin gerçek zamanlı takibi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen robot; keşif, güvenlik ve gözlem alanlarındaki faaliyetlerde de kullanılacak özelliklere sahiptir. Bu görme tabanlı mobil robotun, sadece görüntü işleme ve robotik görme teknikleri kullanılarak otonom bir şekilde hareket ettirilmesi hedeflenmiştir. Sistemde, mikrodenetleyici yazılımı dışındaki bütün yazılımlar için MATLAB programı kullanılmıştır. Ayrıca robotun bir topu, hem şekline hem de rengine göre takip etmesi ile ilgili algoritmalar oluşturulmuş ve ilgili çalışmalar yapılmıştır. Sistemin çalışmasını test etmek amacıyla doğrusal ve dairesel yörüngeler boyunca sabit hızla hareket eden nesnenin robot tarafından takibi ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Elde edilen test sonuçlarından, gerçekleştirilen görme tabanlı mobil robot sisteminin, işlem sürelerinin oldukça kısaltılabileceği ve çok amaçlı uygulamalarda verimli bir şekilde kullanılabileceği elde edilen bulgular arasındadır. Tasarlanan görme tabanlı mobil robotun detayları, Bölüm 2’de, yazılımları, Bölüm 3’te, nesne takip yöntemleri, Bölüm 4’te ve sonuçları ise son bölümde verilmiştir.

2. TASARLANAN GÖRME TABANLI MOBİL ROBOT (THE DEVELOPED VISION-BASED MOBILE ROBOT)

Bu çalışmada tasarlanan ve gerçekleştirilen mobil robot platformu Şekil 1’de gösterilmiştir. Mobil robot üzerinde bulunan kablosuz kameranın vericisi ile mobil bilgisayara bağlı alıcı kullanılarak ilk önce kamera görüntüsü bilgisayara aktarılmakta ve program vasıtasıyla da görüntü yakalanmaktadır. Yakalanan bu görüntü işlendikten sonra, robotun sürüş sisteminin hareketini sağlayacak olan sonuç verisi ise bilgisayar üzerinde bulunan bluetooth adaptörüyle robota gönderilmektedir. Gelen bu sonuç verisine göre robot, üzerinde bulunan mikrodenetleyici ile sürüş sistemini kontrol etmektedir.

Görme tabanlı mobil robot, düzgün yüzeylerde kablosuz olarak hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Robotun mekaniğinin basit, kontrolünün kolay olmasına ve gözlem, keşif gibi uygulamalarda kullanılacak özelliklere sahip olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan mobil robot sisteminin genel blok diyagramı Şekil 2’de verilmiştir.

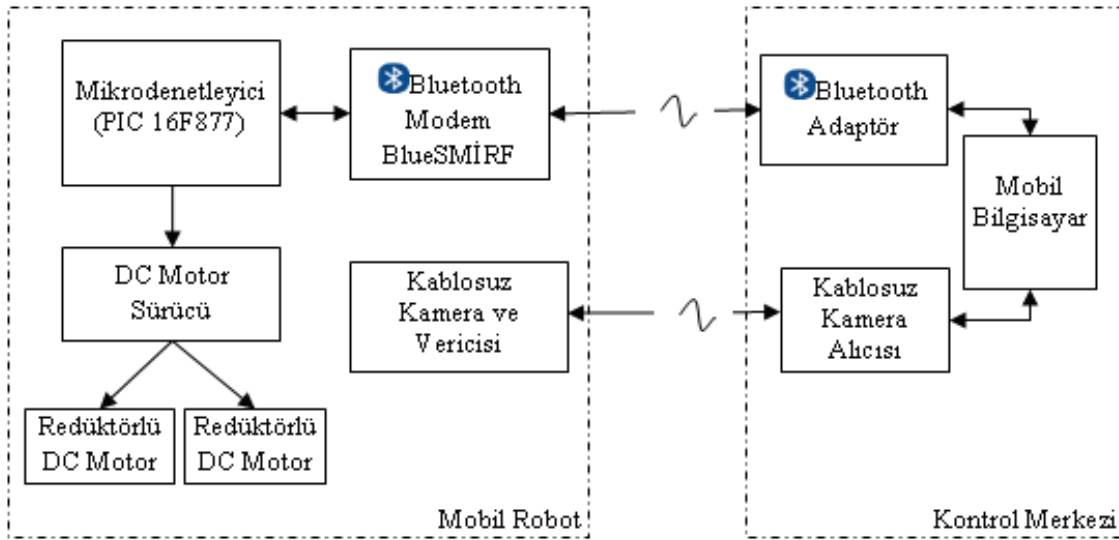
Şekil 2' de verildiği gibi tasarlanan mobil robot sistemi temelde dört ana bölüme ayrılmaktadır. Bu bölümler; araç hareket sistemi, haberleşme sistemi, görme sistemi ve kontrol merkezidir.

Araç hareket sistemi, hareketin öndeki iki tekerlekten sağlandığı ve onların yönlendirmesiyle rahatça hareket edebilen arka tekerlekten oluşmuş, üç tekerlekli bir robot araç mekanizmasıdır.

Görme sistemi; alıcı ve vericisi olan kablosuz bir kameradan yakalanan görüntülerin bilgisayarda görüntü işleme teknikleri kullanılarak işlenmesi esasına dayanmaktadır.

Haberleşme sistemi ise bluetooth modeminin ve ilgili algoritmanın kullanılmasıyla güvenli bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Mobil robotun tüm aktivitelerini ise kontrol merkezi olarak adlandırdığımız taşınabilir bir kişisel bilgisayar kontrol etmektedir. Kontrol merkezi olarak genel amaçlı taşınabilir bir bilgisayar (Fujitsu Siemens marka bir kişisel bilgisayar) seçilmiştir. Bu bilgisayarda 1,86 GHz Intel Centrino işlemci, 512 MB RAM, 15,4 inç LCD ekran, fax modem ve DVD+RW bulunmaktadır. Ayrıca bu özelliklere ilaveten TV kartına ve Bluetooth USB Adaptöre de ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 1. Tasarlanan mobil robot sisteminin genel blok diyagramı (General block diagram of the developed mobile robot)



Şekil 2. Tasarlanan mobil robot platformu (The developed mobile robot platform)

Robot üzerinde, hareket kontrolü için bir adet mikrodenetleyici ünitesi (PIC16F877) bulunmaktadır. Mikrodenetleyici ünitesi bluetooth modülü yardımıyla kontrol merkezi ile haberleşmektedir. Bunlara ek olarak mikrodenetleyicinin kontrol ettiği iki adet redüktörlü ve enkoderli DC motor, bu motorları sürebilmek için H köprü devresi ile iki adet 16X2 LCD de mobil robotun tasarımında kullanılan önemli donanımlardır. Ayrıca geliştirilen mobil robotta mekanik olarak sistemi basitleştiren diferansiyel sürüş sistemi kullanılmıştır [15].

3. TASARLANAN GÖRME TABANLI MOBİL ROBOT' UN YAZILIMLARI (SOFTWARE OF THE DEVELOPED VISION BASED MOBILE ROBOT)

Tasarlanan robotun yazılım altyapısında 2 temel öge vardır. Bunlardan ilki; robot hareketlerinin sağlandığı mikrodenetleyicide yürütülen yazılımdır. Bu mikrodenetleyicinin programlanması PICC derleyicisi kullanılarak yapılmıştır.

Mikrodenetleyici için yazılım programı:

- Kontrol merkezi ile RS232 portu üzerinden 115200 Baud hızında ve 8 bit data, parity (eşlik) biti yok, 1 stop biti biçimindeki veri formatı ile haberleşme,
- Motorun sağ-sol ve ileri-geri dönme hareketlerini gerçekleştiren PD kontrol algoritması ile ilgili, fonksiyonları yürütmektedir.

İkincisi, kontrol merkezi olarak adlandırdığımız görüntü tabanlı tüm robot faaliyetlerini yerine getiren, robot hareketlerini koordine eden, iletişimi sağlayan ve MATLAB programlama dilinde yazılan kontrol merkezi ana yazılımdır. Projenin ana yazılımını oluşturan öğeler; görüntü yakalama fonksiyonları, görüntü işleme fonksiyonları ve haberleşme fonksiyonlarıdır.

4. GELİŞTİRİLEN NESNE TAKİP YÖNTEMLERİ (DEVELOPED OBJECT TRACKING METHODS)

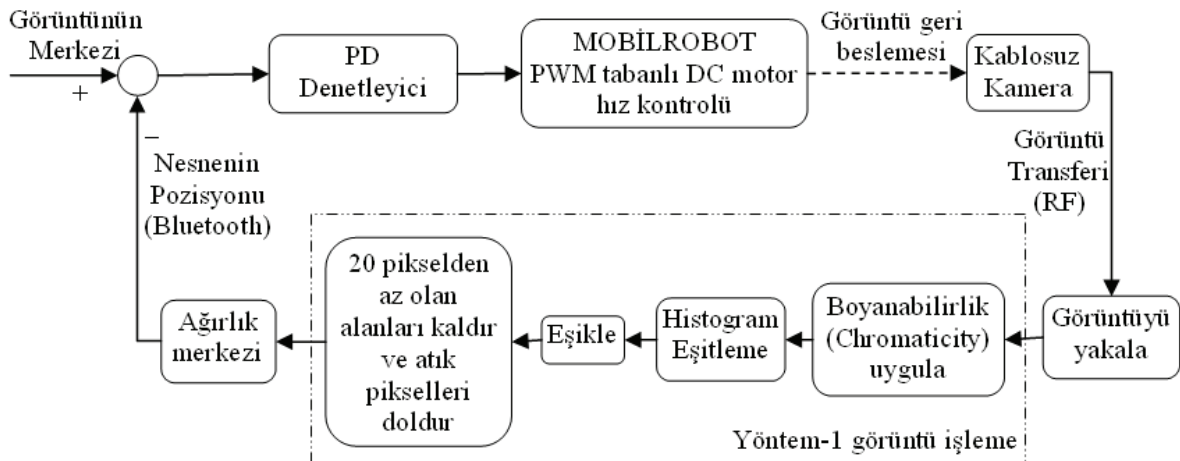
Tasarlanan görme tabanlı mobil robotun nesne takibi için kullandığı birinci yöntem, cismin arka plandan ayrıştırılması için nesnenin ayırt edici en önemli özelliğinin, yani nesnenin renginin kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak nesnenin zemin üzerinde nerede olduğu tespit edilmiş ve algılanan nesnenin konumunun, resmin tam ortasında kalmasını sağlayacak şekilde, robotun hareket etmesi sağlanmıştır. Bu çalışmada, yuvarlak cisimlerin düz zeminde daha kolay hareket edebilme özelliğinden dolayı nesne olarak bir top seçilmiştir. Bu çalışmada uygulanan ilk yöntemin blok diyagramı Şekil 3' te verilmiştir.

Birinci yöntemde ilk olarak görüntünün yakalanması sağlanır daha sonra renk tabanlı ayıklanmanın gerçekleşmesi için RGB renk uzayı kullanılır. İstenen renge göre algoritmaya boyanabilirlik (chromaticity-r.g.b) yöntemi uygulanarak ilgili renk pikselleri bulunur. Boyanabilirlik (chromaticity) değerleri olan r, g ve b (1) ile hesaplanır [16].

$$r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B}, b = \frac{B}{R+G+B} \quad (1)$$

Histogram eşitleme tekniği ile de bu piksel değerleri arasındaki farkın azaltılması sağlanarak görüntü üzerinde iyileştirme yapılır. Daha sonra eşikleme işlemi yaparak binary formatta (yani siyah-beyaz olarak) bir görüntü elde edilir. Beyaz olan yerler, algılanması istenen cismin alanını ifade eder. Bunun dışında bazı beyazlıklar da (hatalar da) algılanabilir.

Bu hataları azaltmak için 20 pikselden az olan beyazlıklar yok edilip, içlerinin siyah dolması ve aynı şekilde nesnenin içindeki atıkların da (siyahlıkların) beyaz olması sağlanır.



Şekil 3. Yöntem-1 için blok diyagramı (Block diagram for Method-1)

Nesnenin görüntü üzerindeki yerinin tespiti, elde edilen binary formattaki görüntünün ağırlık merkezinin bulunmasıyla sağlanır. Bu ağırlık merkezinin yataydaki ve düşeydeki değerleri, görüntünün merkeze göre kaç piksel sağda ya da kaç piksel solda olduğunun bulunmasında kullanılır. Bu değerler, Bluetooth vasıtasıyla robot üzerindeki mikrodenetleyiciye gönderilir. Alınan bu değerler, nesnenin konumunun görüntünün tam ortasında kalması için bir PD kontrol algoritmasında kullanılır ve sonuç olarak robotun hareketi sağlanmış olur.

Sistemde kullanılan PD denetleyicisi (2-6)' da verildiği gibi tasarlanmıştır. $K_P=3,2$, $K_D=0,0001$, $Ofset=5000$ olarak verilmiştir.

$$e_{x,y} = P_{istenen} - P_{ölçülen} \quad (2)$$

$$u_x = e_x \cdot K_P + \frac{de_x}{dt} \cdot K_D \quad (3)$$

$$u_y = e_y \cdot K_P + \frac{de_y}{dt} \cdot K_D \quad (4)$$

$$v_r = u_x + u_y + Ofset \quad (5)$$

$$v_l = u_x - u_y + Ofset \quad (6)$$

Burada, $P_{istenen}$, görüntünün merkezi, $P_{ölçülen}$, nesnenin pozisyonu, v_r , sağ motor hızı, v_l , sol motor hızı, Ofset, kullanılan PWM' in çözünürlüğüne bağlı olarak yaklaşık değer, e_x , x eksenindeki pozisyon hatası, e_y , y eksenindeki pozisyon hatasıdır. Yöntem-1 için pseudo kodu Tablo-1' de verilmiştir.

Tablo-1 Yöntem-1 için pseudo kodu (Pseudo code for METHOD-1)

```

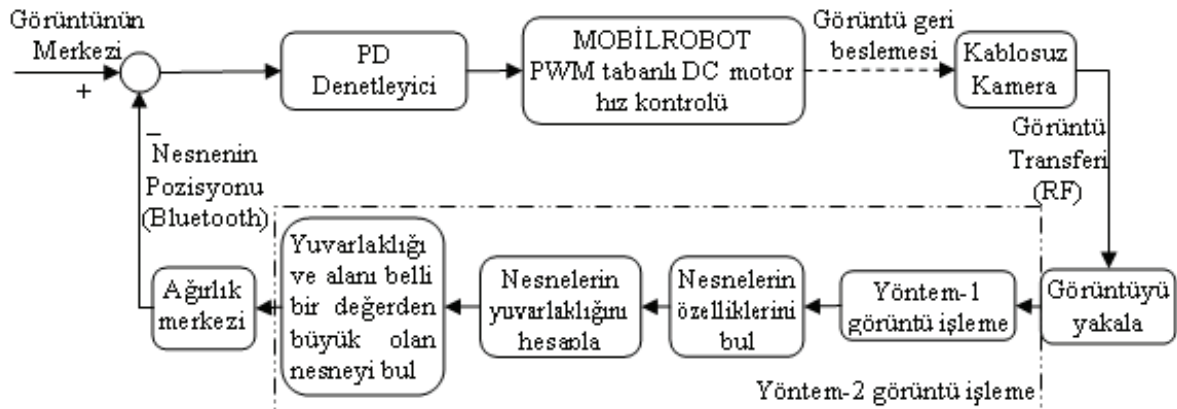
Seriport_nesnesi_olustur(BaudRate_115200, Parity_yok);
Baglan(Seriport_nesnesi);
Seril=Aç(Seri_port);
A=Görüntü_giriş_nesnesi_olustur(160X120 piksellik);
Ön_izleme_goster(A);
For i başla 0' dan, i < Inf, artır i' yi
Haberleşme_gecikmesi(45ms);
B=Görüntüyü_yakala(A);
C=Boyanabilirlik_uygula(B);
D=Histogram_eşitle(C);
E=Eşikle(D);
F= 20_pikselden_küçükleri_kaldır(E);
G=Binary_görüntüdeki_nesneleri_doldur(F);
H=Görüntünün_ağırlık_merkezini_bul(G);
I=İleri_ve_yatay_hareket_verisini_üret(H);
J=Haberleşme_için_hareket_verilerini_normalize_et(I);
Veri_gönder(Seril, kontrol_verisi, ileri_hareket_verisi(j1)...
,yatay_hareket_verisi(j2));
Endfor
Görüntü_nesnesini_kapat(A);
Haberleşmeyi_kapat(Seril);
Sil(Seriport_nesnesi);

```

Yöntem-2 ise cismin arka plandan ayrıştırılması için nesnenin şeklinin ve beraberinde nesnenin renginin kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntemde yapılan değişiklikler sadece MATLAB programını içermektedir. Bu yöntemde birinci yonteme ilaveten takip edilen nesnenin geometrik yapısı da değerlendirilir. Sistemde, nesne olarak top kullandığımız için belli yuvarlaklık derecesine sahip ve kapladığı alan belli bir değerden büyük olan nesne yuvarlak kabul edilir. Yuvarlaklık metriği (7) ile ifade edilir.

$$\text{yuvarlaklık metriği} = \frac{4\pi \cdot \text{Alan}}{\text{Çevre}^2} \quad (7)$$

Yuvarlaklık metriği 1' e ne kadar yaklaşırsa yuvarlaklık derecesi o kadar artar. Yöntem-2 için blok diyagramı Şekil 4' te verilmiştir. Yöntem-2 için pseudo kodu Tablo-2' de verilmiştir.



Şekil 4. Yöntem-2 için blok diyagramı (Block diagram for Method-2)

Tablo-2 Yöntem-2 için pseudo kodu (Pseudo code for METHOD-2)

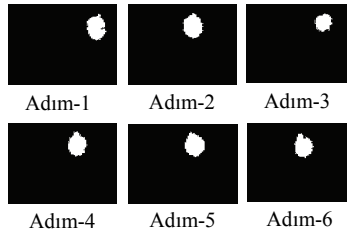
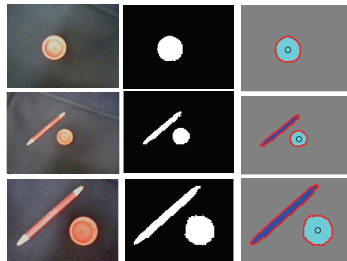
```

Seriport_nesnesi_olustur(BaudRate_115200, Parity_yok);
Baglan(Seriport_nesnesi);
Seri1=Aç(Seriport);
A=Görüntü_giriş_nesnesi_olustur(160X120 piksellik);
Ön_izleme_goster(A);
For i başla 0' dan, i < Inf, artır i' yi
Haberleşme_gecikmesi(45ms);
B=Görüntüyü_yakala(A);
C=Boyanabilirlik_uygula(B);
D=Histogram_eşitle(C);
E=Eşikle(D);
F= 20_pikselden_küçükleri_kaldır(E);
G=Binary_görüntüdeki_nesneleri_doldur(F);
H=Binary_görüntüdeki_nesnelerin_sınırlarını_belirle(G);
[alan,merkez]=Nesnelerin_özellikleri(H);
For k başla 0' dan, k < maksimum_sınır_sayısı, artır k' yi
yuvarlaklık=Nesnelerin_yuvarlaklığını_hesapla(alan[k],H[k])
If yuvarlaklık > sabit_bir_değer ve alan(k) > sabit_bir_değer
K=Göster(merkez[k]);
Else
Gönder(Robotun_hareket_etmemesi_için_uygun_değer_gönder)
Endif
Endfor
L=İleri_ve_yatay_hareket_verisini_üret(K);
M=Haberleşme_için_hareket_verilerini_normalize_et(L);
Veriyi_gönder(Seri1, kontrol_verisi, ileri_hareket_verisi(M1)...
yatay_hareket_verisi(M2));
Endfor
Görüntü_nesnesini_kapat(A);
Haberleşmeyi_kapat(Seri1);
Sil(Seriport_nesnesi);

```

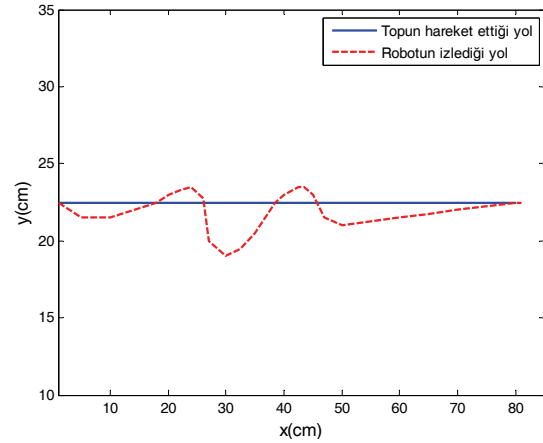
Herhangi bir anda Yöntem-1 ile elde edilen sonuçlar Şekil 5' de verilmiştir. Topun takibinde görme tabanlı mobil robotun vereceği tepki süresinin önemli olması sebebiyle Yöntem-1 daha idealdir.

Herhangi bir anda Yöntem-2 ile elde edilen sonuçlar Şekil 6' da verilmiştir.

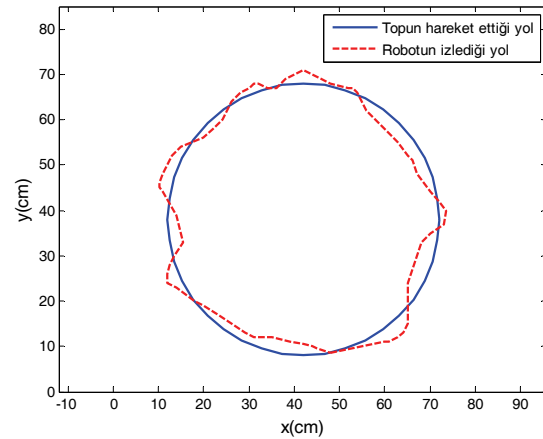
**Şekil 5.** Yöntem-1' in sonuçları (Results for Method-1)**Şekil 6.** Yöntem-2' in sonuçları (Results for Method-2)

Bunlara ek olarak Yöntem-1' i kullanan görme tabanlı mobil robot için doğrusal ve dairesel yörüngeler boyunca sabit hızla hareket ettirilen bir topu takip etmesiyle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Mobil robotun,

doğrusal yörünge boyunca sabit hızla hareket ettirilen topu takibi Şekil 7' de gösterilmiştir.

**Şekil 7.** Mobil robotun doğrusal yörünge boyunca sabit hızla hareket ettirilen topu takibi (Ball tracking of mobile robot which moved with definite speed through linear orbit)

Görme tabanlı mobil robotun doğrusal yörünge boyunca sabit hızla hareket ettirilen topu takibinde yörüngeden maksimum 4 cm saptığı gözlemlenmiştir. Ayrıca dairesel yörünge boyunca sabit hızla hareket ettirilen topu takibi de Şekil 8' de gösterilmiştir.

**Şekil 8.** Mobil robotun dairesel yörünge boyunca sabit hızla hareket ettirilen topu takibi (Ball tracking of mobile robot which moved with definite speed through circular orbit)

Görme tabanlı mobil robotun dairesel yörünge boyunca topu takibinde ise yörüngeden maksimum 4,5 cm saptığı gözlemlenmiştir [15].

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, görme tabanlı bir mobil robotun tasarımı, imalatı ve hem rengine hem de şekline göre topun takibi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca robotun, doğrusal ve dairesel yörüngeler boyunca sabit hızla hareket ettirilen bir topu takibi ile ilgili çalışmalara da yer verilmiştir. Bu uygulama, aynı yöntem kullanılarak farklı nesnelerin bilgisayarca

algılanmasıyla daha kapsamlı bir bina içi navigasyonun gerçekleşmesine imkân verecektir.

Uygulamada kullanılabilecek pek çok hazır robot piyasada mevcut iken, proje kapsamında tasarlanarak imal edilmiş prototip mobil robot, ileri teknoloji unsurlarını içeren, geliştirilmeye açık bir yapı sergilemesinden dolayı önem taşımaktadır. Tasarımı gerçekleştirilen bu mobil robotun tümüyle görüntüye dayalı olarak hareketlerinin koordine edilmesi ve otonom çalışması bu alanda önemli bir yenilik getirmiş ve çevresi ile etkileşim içerisinde bulunan böyle bir mobil robot için gerekli birçok sensörün ekonomik olarak maliyeti azaltılmış, mekaniksel ve elektriksel yapısındaki karmaşıklık önlenmiştir.

Projenin bina içinde 65 metreye kadar haberleşmesinin kablosuz olarak gerçekleştirilmesi hem robotun hareket yeteneğinin artmasına hem de kullanım maliyetinin düşmesine yönelik esneklik sağlamıştır. Ayrıca bu durum projeye; uzaktan gözlem, güvenlik ve kontrol amaçlı kullanılabilme özelliklerini de kazandırmıştır. Bölüm-4’ te bahsedildiği gibi temelde Yöntem-1 (renge göre tanıma) ve Yöntem-2 (hem renge hem de şekle göre tanıma) olmak üzere iki yöntem üzerinde durulmuş ve bunların karşılaştırılması Tablo-3’ de yapılmıştır.

Tablo-3 Yöntemler ve işlem süreleri (Methods and process durations)

Yöntemler	İşlem süreleri
Yöntem-1 (renk)	Görüntü işleme süresi: 40ms Kontrol ve kablosuz haberleşme işlem süresi: 55ms
Yöntem-2 (yuvarlaklık)	Görüntü işleme süresi: 95ms Kontrol ve kablosuz haberleşme işlem süresi: 55ms

Bu uygulamada, özellikle algoritmanın ne kadar sürede işlendiği önem taşımaktadır. Çünkü algoritma süresi robotun, hızlı tepki verebilmesi için önemlidir. Görme tabanlı mobil robotun farklı renklerde (kırmızı, mavi, yeşil) nesnelere takibinde görüntü işleme için MATLAB, görüntünün kontrol merkezine gönderilmesi için kablosuz kamera, kontrol merkezinden verinin gönderilmesi içinse haberleşme de bluetooth kullanılarak robotun tepki verme süresi 96 ms ile 106 ms zaman aralığına kadar indirilebilmiştir. Bu da önerilen algoritmanın saniyede 10 giriş görüntüsünü işleyebilmesi sayesinde gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca geliştirilen iki farklı görüntü işleme algoritması ile mavi ve kırmızı renkli nesnelere için % 100, yeşil renkli nesnelere için ise % 60’ lık bir tanıma başarısı sağladığı deneylerle görülmüştür.

Erişilebildiği kadarıyla literatürde bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde (yani kameranın robotun üzerine monte edilmiş şekilde kablosuz olarak verilerin iletilmesi) saniyede 12 giriş görüntüsünün işlenebildiği uygulamalar bulunmaktadır. Bu da kullanılan yöntemin saniyede 10 giriş görüntüsünü işleyebildiği için başarılı olarak

kabul edilebileceğini göstermektedir. Görüntü işleme hızının 80 fps’ ye kadar yükseltilmesi ancak robot üzerinde mobil bir kameranın bulunmadığı, sabit kamera görüntülerinin yüksek hızlı veri yolları kullanılarak kablolu olarak gönderildiği ve yüksek işlemciye sahip bir kontrol merkezi tarafından işlendiği durumlarda mümkün olmaktadır. Fakat bu çalışmalarda kamera genellikle robotun çalıştığı sınırlı bir alanı görebilmektedir.

Son zamanlarda, kameraya bütünleşik DSP ve FPGA kitleri geliştirilmektedir. Bu gömülü sistem kitlerinin kullanımıyla görüntü işleme hızının artırılacağı ve mobilitenin sağlanacağı öngörülmektedir. İleriki çalışmalarımızda, sistem performansımızı artırmak amacıyla bilgisayardan bağımsız uygun bir FPGA geliştirme kartının kullanımını hedeflemekteyiz.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

$P_{istenen}$: görüntünün merkezi
$P_{ölçülen}$: nesnenin pozisyonu
v_r	: sağ motor hızı
v_l	: sol motor hızı
$Offset$: kullanılan PWM’ in çözünürlüğüne bağlı olarak verilen yaklaşık değer
e_x	: x eksenindeki pozisyon hatası
e_y	: y eksenindeki pozisyon hatası
fps	: saniyedeki çerçeve sayısı

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. CANAN, S., **Yapay sinir ağları ile GPS destekli navigasyon sistemi**, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
2. Yılmaz, N., Sağiroğlu Ş. ve Bayrak, M., “Genel Amaçlı Web Tabanlı Mobil Robot: SUNAR”, **Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 21, No: 4, 745-752, 2006.
3. Dudek, G. ve Jenkin, M., **Computational principles of mobile robotics**, Cambridge University Press, 2000.
4. DeSouza, G.N., ve Kak, A.C., “Vision for Mobile Robot Navigation: A survey”, **IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Cilt 24, No. 2, 237-267, 2002.
5. Backes, P.G., Norris J.S., Powell M.W. ve ark., “The Science Activity Planner for the Mars Exploration Rover Mission: FIDO Field Test Results”, **Proceedings of IEEE Aerospace Conference**, Cilt 8, 3525-3539, 2003.
6. Briones, L., Bustamante, P. ve Serna M.A., “Wall-Climbing Robot for Inspection in Nuclear Power Plants”, **IEEE International Conference**

- on Robotics and Automation**, Cilt 2,1409-1414, 1994.
7. Khurshid, J., Bing-rong, H., “Military Robots - A Glimpse from Today and Tomorrow”, **Control, Automation, Robotics and Vision Conference, (ICARCV 2004 8th)**, Cilt 1, 771-777, 2004.
 8. Guo, S., Fukuda, T. ve Asaka, K., “A New Type of Fish-Like Underwater Microrobot”, **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, Cilt 8, No1, 136-141, 2003.
 9. Choi, H.T., Hanai, A., Choi, S. K. ve Yuh, J., “Development of an Underwater Robot, ODIN-III”, **Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (IROS 2003)**, Cilt 1, 836 – 841, 2003.
 10. Yoshida, K., ve Nakanishi, H., “Impedance Matching in Capturing a Satellite by a Space Robot”, **Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IROS 2003**, Cilt 3, 3059-3064, 2003.
 11. Stark, L., Tendick, F., Kim, W., Anderson, R., Hisey, M., Mills, B. ve ark., “Telerobotics: Problems and Research Needs”, **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, Cilt 24, No 5, 542 – 551, 1988.
 12. Koide, S., Andou, H., Suzuki, S. ve Oda, M., “Semi-Autonomous Teleoperation Control System with Layered Architecture-An Application to Space Robots”, **Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS '93**, Cilt 3, 1995 – 2001, 1993.
 13. Kelley, R.B., “Semi-Autonomous Robotic Manipulation”, **IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 'Computational Cybernetics and Simulation'**, Cilt 2, 1759-1764, 1997.
 14. De Almeida, A.T., Khatib, O., **Autonomous Robotic Systems (Lecture Notes in Control And Information Sciences)**, Springer-Verlag, 1998.
 15. Uzer, M.S., **Görme Tabanlı Mobil Robotun Farklı Renklerde Nesnelere Takibi**, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
 16. Yılmaz, N. ve Sağıroğlu, Ş., “Real-Time Line Tracking Based on Web Robot Vision”, **2009 Wiley Periodicals, Inc. Computer Applications in Engineering Education, DOI 10.1002/cae.20367**, 1-10, 2009.
 17. Sağiroglu, S. ve Yılmaz, N., “Web-based mobile robot platform for real-time exercises”, **Expert Systems with Applications**, Cilt 36, No 2, 3153-3166, 2009.