



TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
2007-2008 ÖĞRETİM YILI PROJE YARIŞMASI

LASER GÜDÜMLÜ
HEDEF TAKİBİ YAPAN
ROBOTİK DÜZENEĞİ TASARIMI

Hazırlayanlar

Mert Turanlı

Sercan Arslan

Ahmet Arda Özdemir

Danışman

Prof. Dr. Metin Gökaşan

Haziran 2008

İÇİNDEKİLER

İçindekiler.....	1
1. Giriş.....	2
2. Tasarım	2
2.1. Mekanik Tasarım.....	2
2.2. Elektromekanik Tasarım.....	4
2.2.1. Motor Seçimi	4
2.2.2. Motor Sürücü Devresi.....	7
2.2.3. Kontrol Devresi.....	10
2.2.4. Mikrodenetleyici Yazılımları.....	14
2.2.5. Seri Haberleşme Protokolü	14
2.2.6. Veri Toplayıcı	15
3. Sayısal İşaret İşleme	16
3.1. Laser İşaretçisinin Konum Tespiti.....	16
3.2. Kamera Kalibrasyonu	23
4. Sistem Kontrolü	27
4.1. Sistem Modelinin Elde Edilmesi	28
4.2. Kontrolör Tasarımı	32
5. Sonuç.....	35
6. Kaynaklar.....	36
Ek – 1 Mekanik Düzeneğin Teknik Çizimi.....	37
Ek – 2 Mekanik Düzeneğin Fotoğrafları.....	38

1. GİRİŞ

Projede çift eksenli hareket edecek ve bir laser işaretçisi hedef olarak gösterilen bir bölgeyi kameradan tespit ederek o hedefe yönelecek bir robot sistemi yapılması amaçlanmıştır.

Proje kapsamında tasarlanacak olan iki eksenli hareket sağlayacak olan mekanik düzenek için eksenel hareketleri oluşturacak elektromekanik sistem, elektromekanik sistemi sürececek olan güç kuvvetlendirici katı ve elektromekanik sistemin geri beslemeli olarak çalışmasını sağlayacak mikrodenetleyici-sensör arayüzleri, sayısal işaret işleme algoritması ve algoritmanın üzerinde çalışacağı PC ile iletişimi sağlayacak olan haberleşme arabirimi tasarımı adımları hakkında bilgi verilecektir.

2. TASARIM

Tasarım basamakları beş adıma ayrılarak incelenecektir: Mekanik, Elektrik ve Elektromekanik, Sayısal İşaret İşleme ve Sistem Kontrolü.

2.1. Mekanik Tasarım

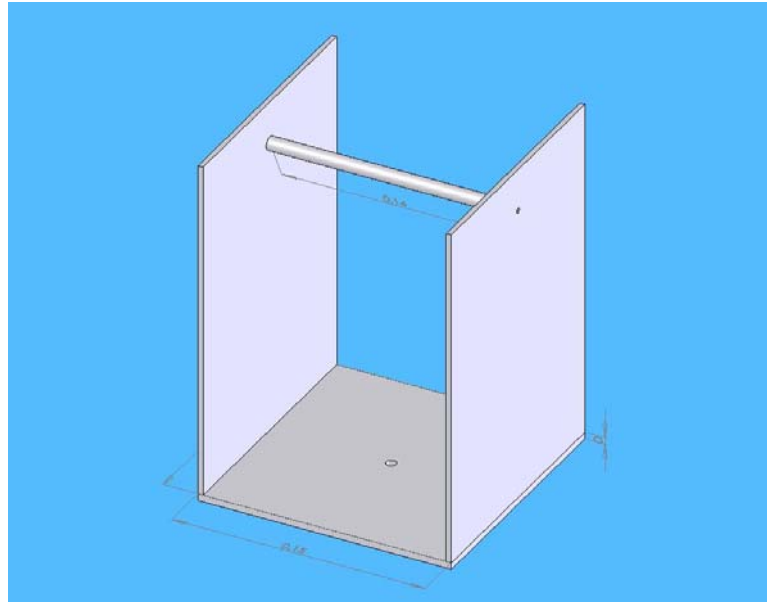
Tasarımın ilk adımı olarak mekanik sistemin ölçüleri ve kullanılacak malzemeler, var olan imkanlar ve parçaların temin edilebilirliği göz önünde tutularak belirlenmiştir. Taban ve sütunlar için kolay işlenebilirliği nedeniyle yapay tahta tercih edilmiş, sütun ve tabanların bağlantısını yapmak üzere L tipi bağlantı elemanları kullanılmıştır.

Tilt eksenli mili ve yuvası, pan eksenli konum algılayıcısı potansiyometre ile şaft arasındaki bağlantıyı sağlayan kayış ve tilt eksenli mili ile servo motor şaftı arasındaki bağlantıyı sağlayan kayış eski bir yazıcının parçalanması ile elde edilmiştir. Servo motor montajı için platformun bir kenarına milinden 7 cm aşağıda 2x4 cm boyutlarında bir yuva açılmış ve servo motor bu alana yerleştirilmiştir. Servo motor şaftı ile mil arasındaki kayışın yeterince gerginliğini yeterli bir seviyeye çekebilmek için iki adet çividen yararlanılmıştır. Redüktörlü motor ile platform arasındaki bağlantıyı sağlamak için ise 5.8 mm'lik somunlar ve bir civatadan kullanılmıştır. Pan konum sensörü olarak B10K model kodunda bir potansiyometre seçilmiştir. Sensör kayışın yeterince gergin kalmasını sağlayacak bir uzaklıkta, sisteme uzun vidalarla monte edilmiş bir tahta parçası üzerine yerleştirilmiştir. Pot ile şaft arasında kayışın kaymasını önlemek üzere şaft civatasına sürtünmeyi artırıcı plastik materyalden oluşan bir

silindir kılıf geçirilmiştir. Ayrıca kayışın aşağı yukarı kaymasını önlemek için de bantlardan oluşan bir barikat oluşturulmuştur.

Şekil 1’de tasarlanan mekanik düzeneğin ölçülerini ve mil yuvaları ile mili gösteren Solidworks’te yapılmış bir teknik çizim verilmiştir.

Ortadaki yatay mil 15.5 cm uzunluğunda ve 8 mm çapında, milin uçlarındaki incelmış kısımlar ise 2 mm uzunluk ve 3 mm çapındadır. Sütunlar 15 cm x 20 cm x 3 mm ve taban kısmı 15 cm x 15 cm x 3 mm ölçülerindedir. Tabanın tam orta kısmı merkez olacak şekilde 5.8 mm çapında bir mil deliği ve sütunların taban ile temas noktalarından 17.5 cm yüksekliği merkez alan 3 mm çapında bir mil yuvası Şekil 1’de görülmektedir. Mekanik parçaların çizimleri Ek-1’de verilmiştir.



Şekil 1 – Mekanik Düzeneğin Teknik Çizimi

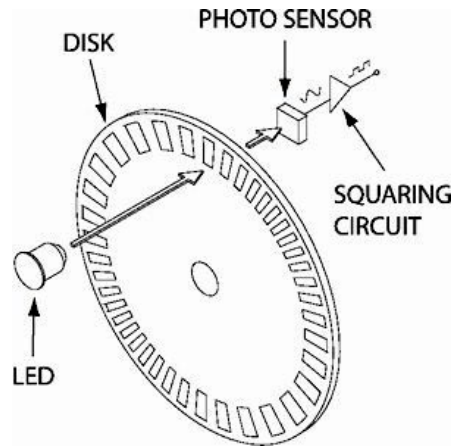
2.2. Elektromekanik Tasarım

2.2.1. Motor Seçimi

Projede elektrik işaretlerinden mekanik güç elde etmek için kullanılacak olan motorlar seçilirken, kontrol kolaylığı sağlaması nedeniyle sabit mıknatıslı doğru akım motorları olması tercih edilmiştir. Sütunlar arasındaki mili hareket ettirecek, yüksek tork gerektirmeyen bir doğru akım motoru ile tüm mekanik düzeneği kendi eksenini etrafında döndürecek olan nispeten yüksek torklu bir doğru akım motoru seçilmesi söz konusudur.

Motorların her ikisinde de konum geri beslemesi alabilmek için artırılmış çalışan kodlayıcı (incremental encoder) algılayıcıları olması düşünülmüştür. Artırılmış kodlayıcı, eşit aralıklarla boyanmış ya da delikli bir disk ile bu diske ışık gönderip yansımaları ya da delikten geçişini algılayan kızılötesi LED ve fototransistör çiftlerinden oluşur. Şekil 2’de örnek bir artırılmış kodlayıcının çalışma mantığı verilmiştir.

Motor miline bağlı artırılmış bir kodlayıcının çözünürlüğü, disk üzerindeki delik sayısı ve motorun ucuna bağlı dişlideki çevrim oranı ile ilişkilidir. Konum kontrolü yapılması planlandığından birkaç derecelik bir açısal çözünürlük beklenmektedir. Bu yüzden makul bir çevrim oranına sahip bir redüktör ile birlikte gelen motor türlerine öncelik verilmiştir.



Şekil 2 – Örnek Bir Artırılmış Encoder

Motor üreticilerinin ve distribütörlerin sitelerinde yapılan araştırmalar sonucu uygulama için uygun olan birkaç motor katalogu incelenmiştir.

Dunkermotoren G30.2 12V nominal gerilimde, 0.60A nominal akıma sahip 2900 d/d dönme hızında çalışan bir doğru akım motorudur. Motor miline bağlı 36:1 çevirme oranında bir dişli kutusu ve milin arkasına bağlı tek kanallı bir artırım encoder mevcuttur. Dişli ucunda nominal devir hızı 130 d/d olup, 80 Ncm'lik bir tork değerine ulaşılabilir.

Encoder'in diski Şekil 3'te görüldüğü gibi bir turda 57 atma (pulse) verecek şekilde diyot-fototransistor çifti arasında dönüş yapmaktadır. Dolayısıyla motorun milinin redüktör ucunda bir tur $57 * 36 = 2052$ atmaya denk gelmekte olup, 0.175° açısal çözünürlükte konum ölçümü yapılabilmesine olanak vermektedir. Şekil 4'te redüktörlü ve kodlayıcı motorun fotoğrafı verilmiştir.

Projede geline aşamada, seçilen bu motorun miline bir kayış sistemi bağlanması düşünülmektedir, fakat pratikte özellikle parça temini konusunda çıkan sorunlardan ötürü alternatif olarak yeterli torku sağlayabilecek bir standart analog servo motor seçilmiştir. Şekil 5'te gösterilen Futaba S3001 model kodundaki bu servo motor, 4 kg-cm (yaklaşık 39.2 N-cm) değerinde tork üretebilmekte olup, 4.8V besleme geriliminde 0.28 s/60°'lik bir yerleşme süresine sahiptir. Alternatif olarak bu tür bir servo motorun düşünülmesinin nedeni, mil bağlantısını kolaylaştırmasıdır.



Şekil 3 – Artırım Kodlayıcı Diski



Şekil 4 – Redüktör ve Artırımlı Kodlayıcılı DC Motor



Şekil 5 – Standart Servo – Futaba S3001

Motora ilişkin tork değeri, mile bağlanacak yüke göre oldukça yeterli bir değerdedir. 80 N-cm değeri, 8 kg'lık bir yükün dönme merkezine 1 cm uzaklıkta asılı durabileceği şeklinde düşünüldüğünde, dönme eksenindeki kamera ile yerleştirilecek tahta ağırlığı, sürtünme ve eylemsizlik etkileri karşılanabilmektedir.

Mekanik düzeneğin kendi eksenini etrafında (pan) dönüşünü sağlayacak olan motor 12V gerilimde 1476 d/d hızıyla döneabilen, 0.29A nominal akıma sahip bir doğru akım motordur. Motorun miline bağlı bir mekanik aktarım elemanı sayesinde 82:1'lik bir çevrim oranı elde

edilerek dikey eksenindeki dönüş hareketi, yatay eksene çevrilmektedir. Düzeneğin redüktör ucundaki devir sayısı 18 d/d olup, düzeneğin Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 6

Mekanik düzeneğin tasarlanırken taban kısımdaki mil genişliği Şekil 5’teki düzeneğin çıkış miline göre ayarlanmıştır.

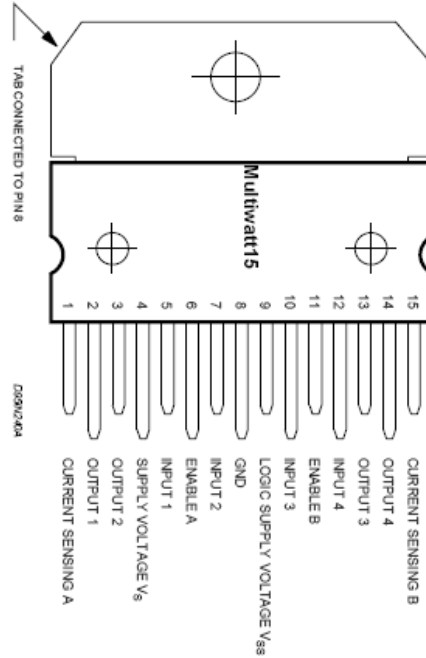
Mekanik düzeneğe ilişkin fotoğraflar Ek-2’de verilmiştir.

2.2.2. Motor Sürücü Devresi

Elektrik motorlarını sürmek için kullanılacak güç kuvvetlendirici katı, 12V besleme geriliminde 0.6A değerini karşılayabilecek motor sürücülerden oluşmalıdır. Motor sürücü tasarlanırken, yüksek akım değerli MOSFET’lerden oluşan sürücüler yerine, istenen akım değerinin küçük olması göz önüne alınarak motor sürücü tümleşik entegrelere yönelme kararı alınmıştır. Konum kontrolü yapılması istendiğinden, motor sürücülerin çift yönlü akım akıtabilen bir H-Köprüsü yapısında olması gerekmektedir. Motorlara uygulanacak gerilim de darbe genişliği modülasyonu (PWM) ile kontrol edilmektedir.

Yüksek akım değerleri için ilk olarak düşünülen HIP4081A H-Köprüsü sürücüsü, IRF540 MOSFET’lerden oluşan yapı proje için gereksiz ve maliyet açısından dezavantajlı olduğundan, ST Microelectronics’in L298N model kodlu çift kanallı H-Köprüsü sürücüsü tercih edilmiştir. Bu motor sürücü entegresi, anahtarlama elemanlarını içinde

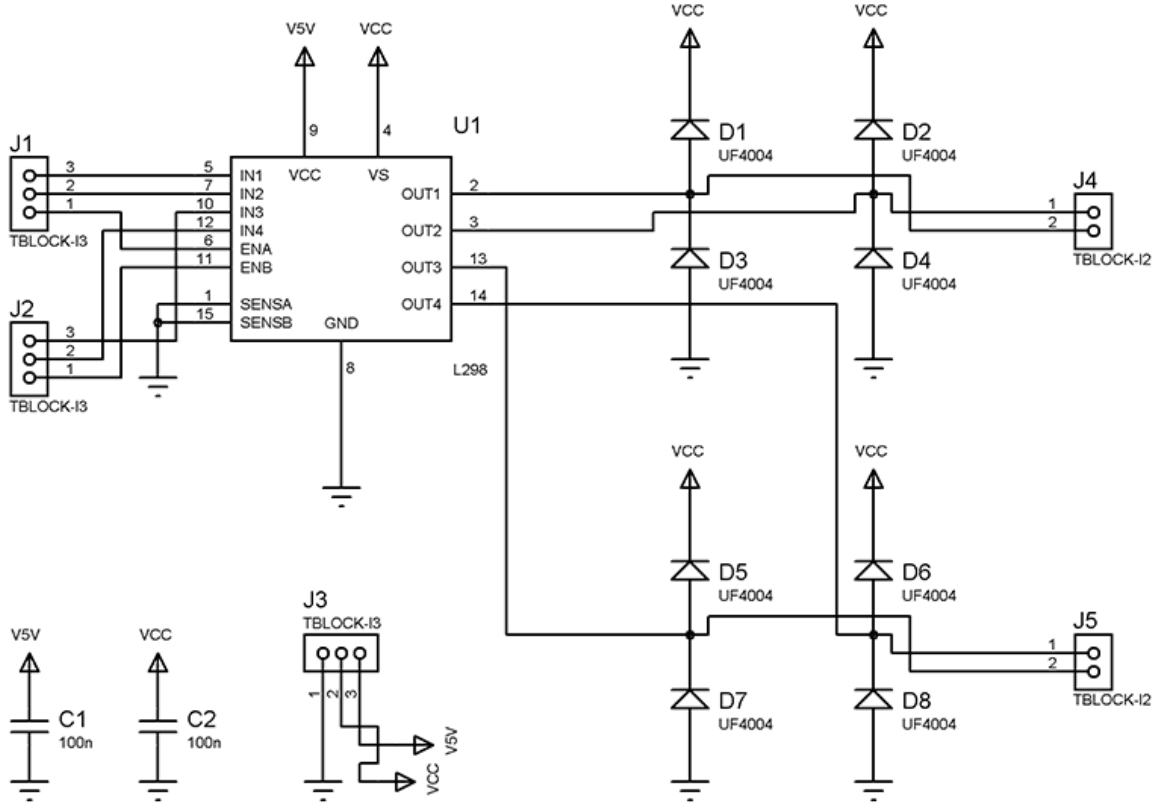
barındırdığından, dışa bağlanacak az sayıda eleman ile (serbest geçiş diyotları ve filtre kondansatörleri) her iki kanaldan toplam 3A akım akıtabilmekte ve 46V'luk besleme gerilimine kadar çalışabilmektedir. Anahtarlama frekansı değeri ise en yüksek 40kHz'dir. Şekil 8'de devre şeması gösterilmiştir.



Şekil 7 – L298N Motor Sürücü Entegresinin Pin Şeması

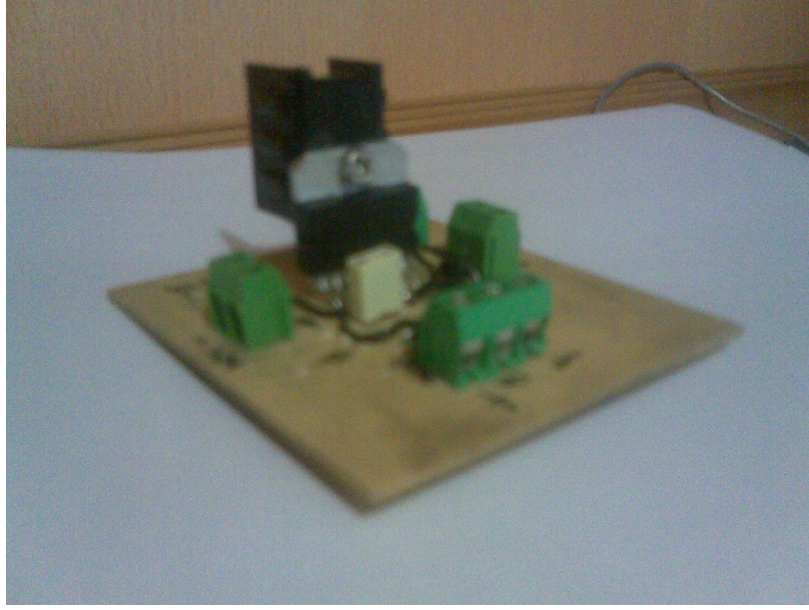
Sürücü entegrelere ilişkin lojik işaretler ve PWM işaretleri mikrodnetleyici ile verilmektedir. Kullanılan PIC16F877A mikrodnetleyicisi, dahili PWM üretici modülü sayesinde ayarlanabilir darbe genişliğinde ve istenen periyotta PWM işareti üretebilmektedir. Tercih edilen anahtarlama frekansı, motordan akacak akımın sürekli olmasını sağlayacak ve aynı zamanda insan kulağının duyma sınırının altında bir frekans değeri olmayacak şekilde 20kHz seçilmiştir. Üretilen işaret ile sürücü entegrelerin, motor uçlarındaki ortalama gerilimi değiştirmesi sağlanmaktadır.

Sürücülere ilişkin yön girişleri (birinci kanal için Input 1 ve Input 2 ile ikinci kanal için Input 3 ve Input 4) mikrodnetleyicinin yön işaretini verecek olan çıkışlarına, ENA ve ENB girişlerinden kullanılacak olanları ise mikrodnetleyicinin PWM çıkışına bağlanacaktır. Şekil 9'daki devre şemasında sürücü devresinin şeması gösterilmiştir.



Şekil 8 – L298N Entegresi İçeren Motor Sürücü

Motor sürücünün devre şeması PCB çizimini basitleştirmek amacıyla mümkün olduğunca yalın bir şekilde tasarlanmaya çalışılmıştır. Güç yolları mümkün olduğunca kısa ve düz tutularak yüksek akımların geçeceği yollarda oluşabilecek parazitik etkiler azaltılmaya çalışılmıştır. Ayrıca anahtarlama sırasında parazitik etkilerden dolayı yüksek değerler alabilecek gerilim sıçramalarının motor sürücü entegresine zarar vermemesi açısından DTZ47P model kodunda iki TVS (transient voltage suppressor) motor uçlarından toprağa paralel ve bir snubber kondansatörü de motor uçlarına paralel olacak şekilde bağlanmıştır.



Şekil 9 – Motor Sürücü Devresi

2.2.3. Kontrol Devresi

Sayısal işaret işlemenin yapıldığı PC'den seri haberleşme ile gelecek olan referans değerlerinin hatasız bir şekilde alınarak DC motor sürücü ve R/C servoya uygun işaretlerin gönderilmesini sağlayan bir devre tasarlanmıştır.

Geribesleme işaretini (konum) almak için iki yöntem uygulanmıştır. Birincisi dahili kodlayıcı bulunan motorun bu kodlayıcısını kullanmak; diğeri ise düzeneğe bir kayış yardımıyla potansiyometre takmak şeklindedir. Yapılan denemeler sonucu potansiyometre ile geribesleme alınması yönünde bir karara varılmıştır.

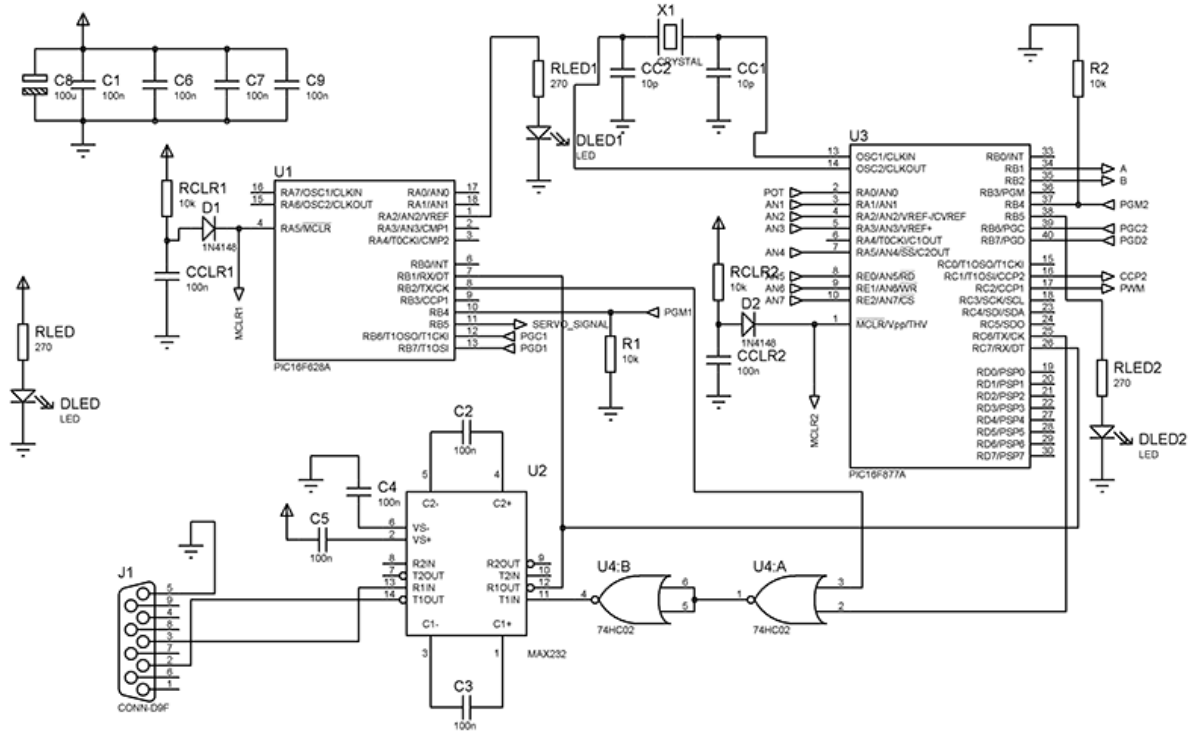
Pan eksenini döndüren doğru akım motoru için konum geribeslemesi potansiyometre üzerinden alındığından bu uygulama için içinde Analog/Sayısal Çevirici modülü olan PIC16F877A mikrodnetleyicisi tercih edilmiştir. Tasarlanan devrede bu mikrodnetleyicinin bir özelliği olan ICSP'yi (devre içinde seri programlama) kullanabilmek için Şekil 10'da gösterilen JICP2 konnektör girişi eklenmiştir. Kullanılan kristal 20 MHz'tir. Potansiyometre geribeslemesi AN0 girişi üzerinden alınmıştır.

Seri iletişim için mikrodnetleyicinin USART modülü çift yönlü iletişim için kullanılmış olup, gönderilen lojik işaretler MAX232 gerilim seviyesi dönüştürücü entegresi yardımıyla standart RS-232 gerilim seviyelerine çevrilmiştir.

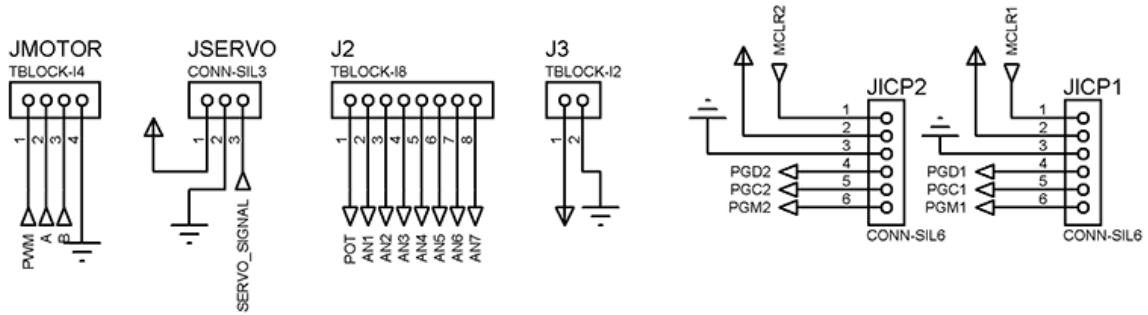
Tilt ekseninde kullanılan R/C servo motorun sürülmesi için, ek olarak bir kontrol algoritması gerekmediğinden seri iletişim arabirimine (USART) sahip bir mikrodnetleyici olan PIC16F628A kullanılmıştır. Bu mikrodnetleyici de ICSP özelliğine sahip olup, aynı şekilde devre üzerinden programlanabilmesi için Şekil 10'da gösterilen JICP1 konnektörü yerleştirilmiştir. R/C servo motorun sürülmesi için standart bir PWM işaretini söz konusudur. 20ms'lik periyoda sahip bir işaretin darbe genişliğinin 1.5ms etrafında ± 0.5 ms'lik bir aralıkta değiştirilmesi ile servo motorun konum kontrolü yapılabilir. Ancak temin edilen servo motorda bu işaretin ± 0.8 ms'lik aralıkta, mekanik sınırları zorlamadan normal bir şekilde kabul edildiği gözlenmiş ve yazılım bu doğrultuda yazılmıştır. Şekil 10'daki JSERVO konnektörü, +5V, toprak ve PWM işaretini içermektedir. Servo motor büyük konum hatası işaretlerinde anlık yüksek akımlar çekebildiğinden, PCB çizilirken güç yolları doğrudan güç konnektörü J3'e yakın olacak şekilde çizilmiş ve yerleştirilmiştir.

İki mikrodnetleyici de seri iletişim için ortak bir veriyoluna bağlanmıştır. MAX232 gerilim dönüştürücüden gelen RXOUT yani alınan verinin iletiildiği yol, iki mikrodnetleyici için de seri iletişim RX pini üzerinden bağlanmış ve gönderme pini olan TXIN de benzer şekilde ortak kullanılmıştır. Ancak gönderme sırasında oluşabilecek işaret çakışması durumunu engellemek için TX pinleri doğrudan aynı noktaya bağlanmak yerine bir OR kapısı (bir NOR kapısı ile uçları birbirine bağlanmış bir NOR kapısı seri bağlanarak OR elde edilmiştir, tek bir 74HC02 entegresi kullanılmıştır) üzerinden bağlanmıştır. Gönderme işlevi, deneme aşamaları dışında kullanılmadığından bu işlevi üzerinde fazla durulmamıştır.

PIC üzerindeki USART modülü asenkron seri iletişim için NRZ (non return to zero) biçimini kullandığından, hat boşta kaldığında pini sürekli lojik 1 konumunda tutmaktadır. Aynı veri yolunu kullanan diğer mikrodnetleyici veri göndermeye çalıştığında, bitlerin doğru ulaştırılabilmesi için TX pinleri bir AND kapısı ile bağlanmalıdır. Bu şekilde diğer düğüm 1 biti gönderdiğinde veri yolu 1 kalacak, 0 gönderdiğinde ise 0'a düşecektir. Projedeki kontrol devresinde bir OR kapısı kullanılmış olup, eğer çift yönlü iletişim istenirse bu kapı AND ile değiştirilmelidir.

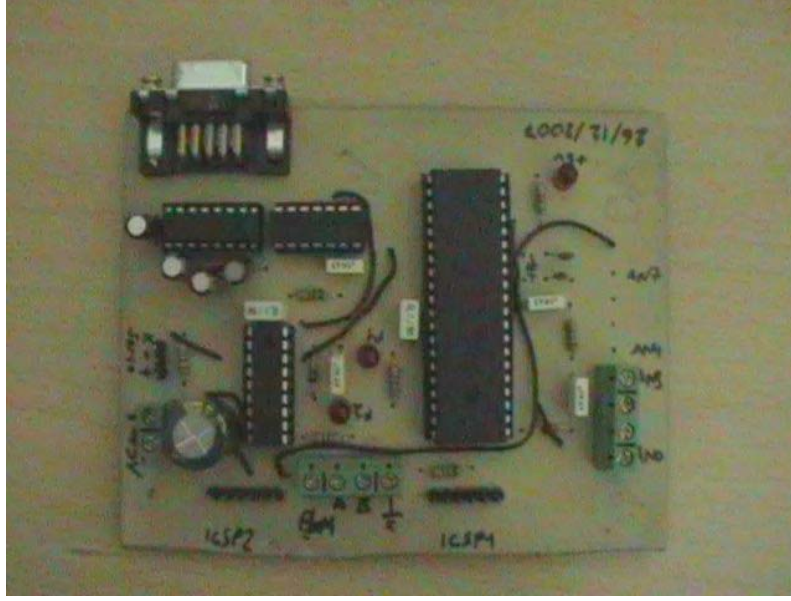


Şekil 10 – Kontrol Devresi

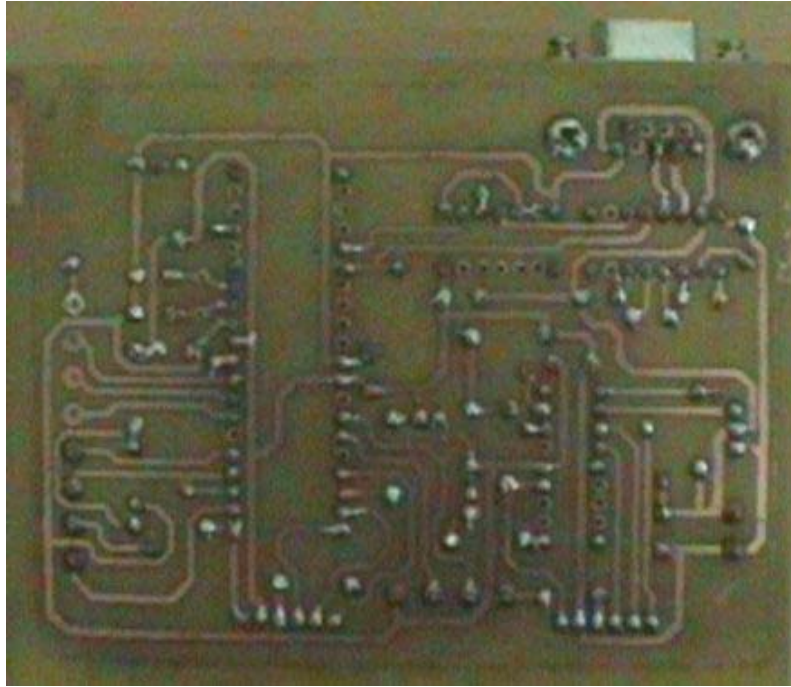


Şekil 11 – Kontrol Devresi Konnektörleri

Şekil 12 ve 13'te PCB'ye basılan kontrol devresine ilişkin fotoğraflar gösterilmiştir.



Şekil 12 – Kontrol Devresi (Ön Yüz)



Şekil 13 - Kontrol Devresi (Arka Yüz)

2.2.4. Mikrodenetleyici Yazılımları

Kullanılan PIC16F877A mikrodenetleyicisi için gereken yazılımlar C dilinde Hitech C Derleyicisi kullanılarak yazılmıştır.

Alternatif olarak düşünülen standart servoya konum kontrolü işaretini verecek olan kod da aynı şekilde C dilinde yazılmıştır. Bu tür standart R/C servo motorların konum bilgisi için kullandığı bir işaret biçimi söz konusudur. Motor, yaklaşık 20ms'lik periyot ile gelen işaret ile konum bilgisini tespit etmektedir. Genellikle 1.5 ms etrafında ± 0.5 ms'lik değişimler doğrusal olarak açı bilgisine denk düşer ve 1.5 ms'lik darbe genişliği sıfır konumunu ifade eder.

PC ile mikrodenetleyici arasındaki seri haberleşme yazılımı için PIC mikrodenetleyicisinin USART modülü kullanılmıştır. Çift yönlü iletişim gerçekleştirebilen bu modülün sadece veri alma kısmı kullanılmıştır.

Her iki mikrodenetleyici için yazılımlarda *Seri Haberleşme Protokolü* başlığında bahsedilecek olan bir protokol kodu yazılmıştır. Bu şekilde mikrodenetleyiciler bağımsız olarak ortak veri yolu üzerinden adreslenebilmekte ve referans bilgisi yollanabilmektedir.

Mikrodenetleyicilere ilişkin program kodları rapor ekinde verilmiştir.

2.2.5. Seri Haberleşme Protokolü

Kontrol devresi başlığında da bahsedildiği gibi, mikrodenetleyiciler ortak bir asenkron seri iletişim veri yolunu paylaşmaktadırlar. Böyle bir tasarımda mikrodenetleyici düğümleri arasında bir adresleme yapılması şart olduğu için, adreslemeyi sağlayacak ve iletişim hatası olasılığını en aza indirecek ufak bir protokol yazılmıştır.

İletişim için birer byte'lık paketler kullanılmış olup, her paketin en üst değerli biti paketin adresleme ya da veri paketi olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bir paket ile gönderilebilecek en büyük değer 7 bit uzunluğunda olabilir, daha büyük değerler birden fazla paket ile gönderilip, yazılım tarafında birleştirilmektedir.

Böyle bir tasarımın tercih edilme nedeni, seri iletişimin gürültüden etkilenmesi ya da mikrodenetleyicilerden birinin resetlenmesi durumunda bile iletişimin kararlı çalışmasını sağlamaktır. Eğer adres biti kullanılmadan paketlerin sıraları yazılım tarafında tutulsaydı, bir mikrodenetleyicinin kapanması ve tekrar açılması durumunda paketler arasındaki senkronizasyon kaybolabilirdi. Bu da sistemin yanlış referanslar almasına, kararsız bir

durumda davranmasına neden olabilirdi. Bu şekilde eğer böyle bir durum oluşsa bile mikrodnetleyici, adres bitinin geldiği paketi almadan ve kendi adresini doğrulamadan yollanan paketi almayacaktır.

Ayrıca verilerin yanlış gönderilme olasılığına karşı basit bir *checksum* kontrolü yapılmaktadır. Bu da yollanan paketlerin tümünün toplamının 128'e bölümünden kalanını göndererek gerçekleştirilmektedir. Üst bit adres biti olduğundan gönderilebilecek en yüksek değer 127'dir, bu yüzden toplamın 128'den kalanı alınmaktadır. Alıcı tarafında gönderilen paketlerin toplamı alınıp, son gelen paket ile karşılaştırılarak kontrol gerçekleştirilmektedir.

2.2.6. Veri Toplayıcı

Motorun açık çevrim transfer fonksiyonu modelini elde edebilmek için sabit örnekleme periyodunda motorun hız ve akım değerlerini örnekleyerek PC'ye seri port üzerinden gönderecek bir donanım ihtiyacından dolayı bir veri toplayıcı tasarlanmıştır.

PIC16F877A mikrodnetleyicisi kullanılarak motorun encoder verisini okuyarak 10ms'de bir ortalama hızı hesaplayan ve seri port üzerinden 9600 baud hızı ile gönderen bir donanımdır. Benzer ve aynı mantıkla çalışan başka bir donanım da konum ölçen potansiyometredeki analog gerilim değerini okuyarak 9600 baud hızı ile PC'ye aktaracak şekilde tasarlanmıştır.

Veri toplayıcıya ilişkin program kodları rapor ekinde verilmiştir.

3. SAYISAL İŞARET İŞLEME

3.1. Laser İşaretçisinin Konum Tespiti

PC üzerinde gerçekleştirilen görüntü işleme algoritması için Intel OpenCV kütüphanesi ve C++ dili kullanılmıştır. Kameradan alınan görüntü üzerinde önce bir eşik renk değerine göre ikili bir resim (binary image) oluşturulmaktadır. Lazer ışığının RGB renk uzayına göre kırmızı değerinin yüksek olmasından yararlanılarak, resim içerisindeki en yüksek kırmızı değerinin %70'i eşik olarak kabul edilmiştir. Ancak bu değer programın ayar dosyasından ayarlanabilmektedir.

Eşik değerinin üzerindeki noktalar arasında öncelikle bağlantılı elemanlar (connected components) oluşturmak ve noktaları gruplayıp etiketlemek için 4-connectivity algoritması kullanılmıştır. İkili resim üzerinde bir (x, y) noktasının 4-komşuluğu çevresindeki noktalar ile tanımlanır^[1]: $(x + 1, y + 1)$, $(x + 1, y - 1)$, $(x - 1, y + 1)$, $(x - 1, y - 1)$

Kullanılacak olan 4-connectivity bağlantı algoritması, (x, y) noktasının 4-komşuluğunu kontrol ederek gruplama ve etiketleme yapacaktır. Gruplanan noktalar üzerinde laser işaretçisinin karakteristiğine göre bir filtreleme işlemi yapılacaktır. İşaretçinin yaydığı ışık yüzey üzerinde daireye çok yakın bir şekil oluşturduğundan, gruplanmış noktaların önce merkez noktaları tespit edilecek, daha sonra da grup içindeki noktalardan 0'dan 1'e ya da 1'den 0'a geçişler köşe olarak algılanarak, bu köşelerin merkez noktalara olan uzaklıkları hesaplanacak ve ortalama yarıçap elde edilecektir. Yine grup içerisindeki kenar noktalarının merkeze uzaklığının ortalama yarıçaptan sapması bulunarak, şeklin bir daire şeklinden hatasını belirtecek bir sayı hesaplanacak ve bu sayı bir tolerans değerinin içinde ise doğru bir dairesel şekil olduğu saptanacaktır. Ayrıca laser dışındaki dairesel şekillerin algılanmasını önlemek amacıyla bir yarıçap toleransı da kullanılması planlanmaktadır. Bu yaklaşımın kamera gürültüsünü engellemek için de yeterli olacağı düşünülmüştür.

Projenin şu an geline noktasında, eşikleme ve pixel gruplaması yapılmış, laser işaretçisi yansız bir yüzeyde tespit edilmiştir. Ayrıca daireselliği bulan algoritmanın tolerans değerlerine bağımlılığının yüksek olduğu yapılan denemelerde gözlenmiştir. Dairesellik tespitinin kararlı çalışmaması durumunda, yansız yüzeyde en yüksek kırmızı miktarının lazer ışığında olacağı varsayımı ile pixel grupları arasında en fazla elemanlı olan grubun lazer ışığı olduğu varsayımı alınarak yol alınması söz konusu olabilir.

Potansiyel laser noktaları elde edildikten sonra, bu noktalar arasında en fazla pixel içeren grubun merkezi tespit edilerek (centroid finding) bu noktanın kamera merkezinden uzaklığı, kontrol algoritmasına referans işaretini verecek olan açısal hata bilgisini üretecektir.

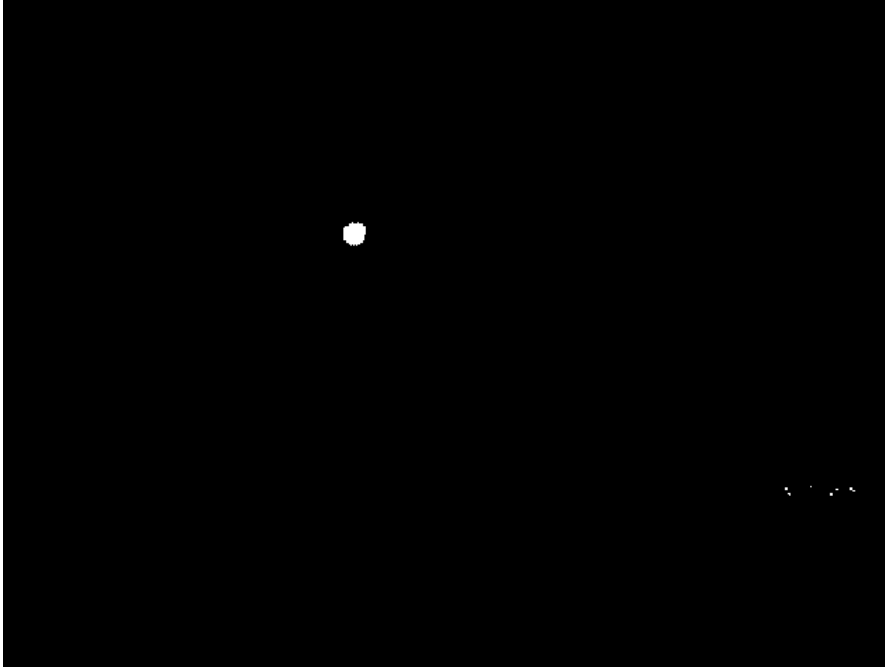
Açısal hata bilgisi, kameranın odak uzaklığı kullanılarak (kalibrasyon sonucu elde edilecek olup, Kamera Kalibrasyonu başlığında anlatılmıştır) temel bir geometrik dönüşüm yardımı ile türetilir.

Kameranın hedefe olan uzaklığını tespit etmek amacıyla benzer problemlerde kullanılan çözüm yaklaşımları genellikle çift kameralı (stereo vision) görüntü düzenekleri yardımıyla çözülmüştür ^[3, 5]. Çift kameralı düzenekte *Disparity Matching* yöntemi ile iki kamerada aynı hedef tespit edilerek, kameralarda bulundukları konumların farkı ve kameralar arası uzaklık verileri kullanılmaktadır. Bu veriler ile, eğer kameralar doğru kalibre edilmişse hedefin üç boyutlu uzay koordinat sisteminde kameradan uzaklığı tespit edilebilmektedir. Ancak hedef ile aradaki uzaklığın tespiti proje kapsamının dışında olduğundan daha temel bir yöntem ele alınmıştır

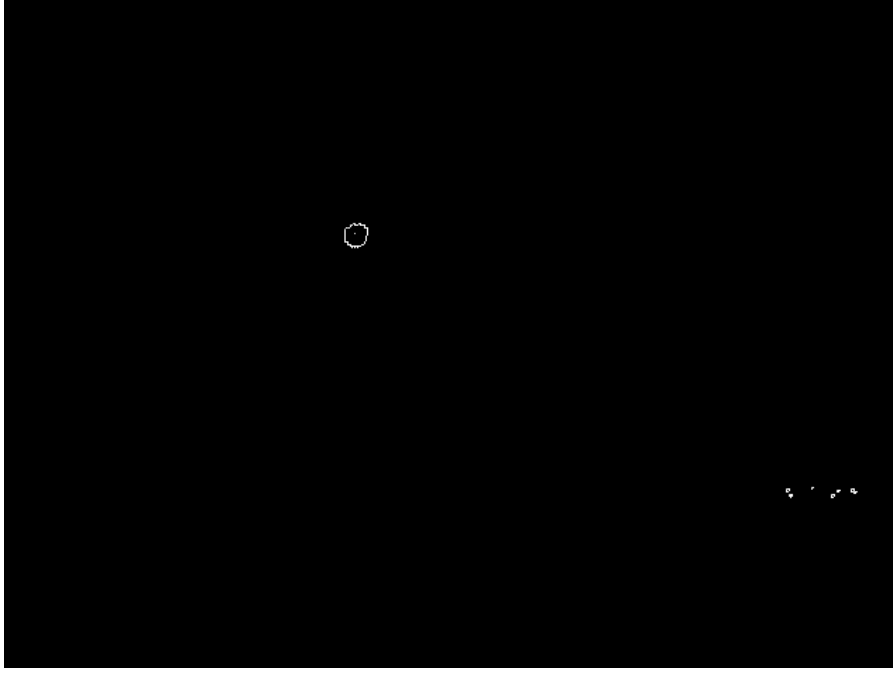
Şekil 10-11-12’de algoritma ile yapılan denemeler sonucu elde edilen çıktılar verilmiştir.



Şekil 14 – Laser Işığ ı İçeren Sahne



Şekil 15 – Sahneye Kırmızı Eşik Değeri Uygulanmış İkili Resim



Şekil 16 – Gruplanmış İkili Resim Üzerinde Gruplara Ait Köşelerin Bulunması

Programa ilişkin gruplama çıktıları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Resmin orjinal boyutu 640x480 pixel olup, tüm birimler pixel cinsindendir. Tabloda verilen değerler sırasıyla, grup numarası, merkez noktası (centroid), ortalama yarıçap ve gruptaki eleman sayısıdır.

Grup 0	Merkez (248,161)	$r = 0$	Eleman: 8
Grup 1	Merkez (249,168)	$r = 7$	Eleman: 215
Grup 2	Merkez (246,162)	$r = 0$	Eleman: 2
Grup 3	Merkez (244,164)	$r = 0$	Eleman: 3
Grup 4	Merkez (242,165)	$r = 0$	Eleman: 1
Grup 5	Merkez (574,349)	$r = 0$	Eleman: 1
Grup 6	Merkez (556,350)	$r = 0$	Eleman: 4

Yapılan denemeye göre, gruplar içerisinde laser işaretçisinin eleman sayısı ve yarıçap değeri açısından rahatlıkla filtrelenebildiği görülmektedir. Ancak bu ölçümün yansısız bir yüzeyde yapıldığı laser işaretçisinin parlak bir ışık ile üst üste binmediği göz önünde bulundurulmalıdır.

Görüntü işleme yazılımı, sayısal işaret işleme algoritmasını koşturmanın yanında, referans açı işaretlerini hesaplayarak mikrodenetleyiciler üzerinde çalışan asenkron seri iletişim protokolüne uygun paketler ile göndermektedir. Bu referans açıları hesaplanırken, *Kamera Kalibrasyonu* başlığı altında elde edilmiş olan merkez noktası ve odak uzaklıkları kullanılmakta ve yine aynı başlıkta bahsedilmiş olan pixel-açı dönüşümü formülü ile elde edilmektedir. Kamerayı ilgili ekseninde döndürmek için gerekli açı bilgisi elde edildikten sonra, konum kontrolörlerinin 10 bit'lik referans değeri ölçeğinin kaç derecelik bir açı bilgisine denk geldiğini gösteren bir katsayı ile bu açılar 0-1023 aralığında bir referans işarete dönüştürülerek seri iletişim yardımıyla yollanmaktadır.

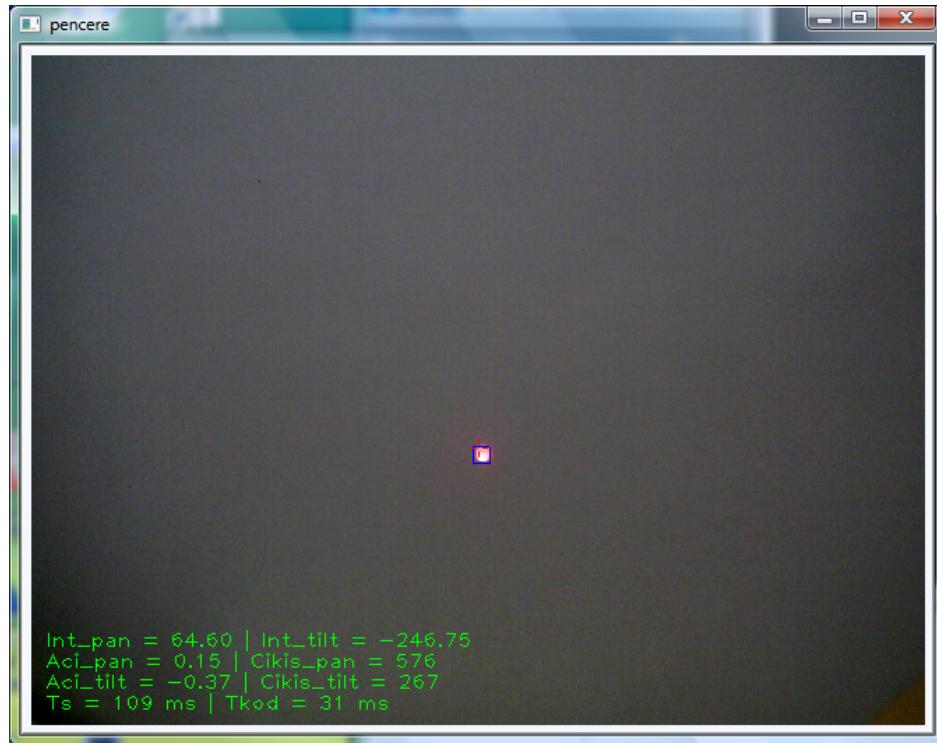
Ayrıca sayısal işaret algoritmasının gönderdiği açı bilgilerinin kestirilemeyen bir nedenden dolayı istenen konuma ulaşmasını sağlamaması durumuna karşılık, PC üzerinde çalışan bu program üzerinde her iki eksen için birer PI kontrolörü kullanılmıştır. PI Kontrolörleri C++ dilinde bir *PI_Kontrolör* nesne sınıfı olarak modellenerek oluşturulmuştur.

Görüntü işleme programı, çalışma anında kameradan aldığı görüntü karesi üzerine gerçek zamanlı olarak hata bilgilerini, PI Kontrolörlerin integral değerlerini, çıkışlarını ve bunlara ek olarak örnekleme zamanı ile görüntü işleme kodunun çalışma süresini yazmaktadır. Kamera merkezinin olduğu bölgede kırmızı renkte bir hedef işaretçisi bulunmakta, tespit edilen hedef yeşil bir kutu içerisine alınmaktadır. Eğer hedef, merkez noktasına alınabildiyse bu kutu mavi renge dönmektedir.

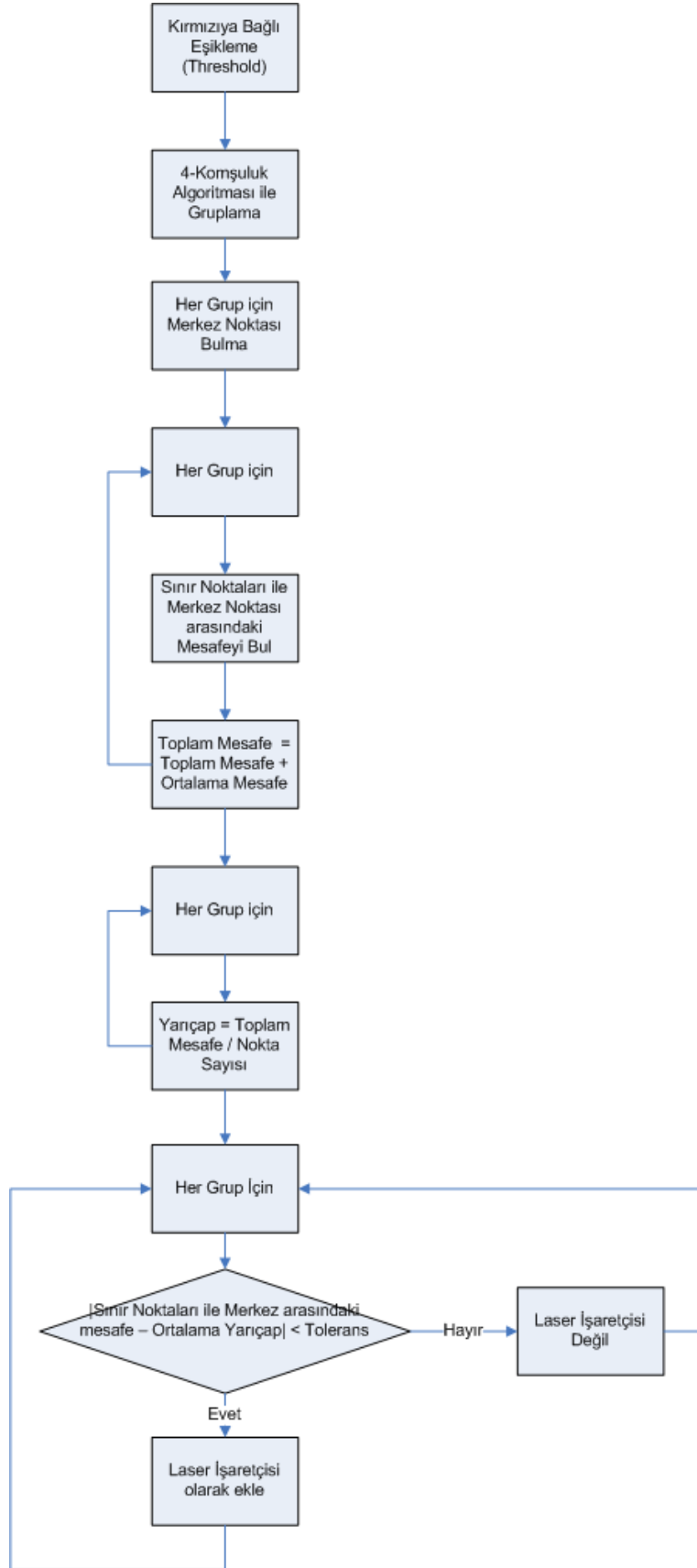
Ayrıca PC üzerinde çalışan görüntü işleme yazılımı süreç önceliğini en yüksek değere çekmekte, yani Real-time öncelikte çalışmaktadır. Zaman paylaşımli bir işletim sistemi (Windows) üzerinde çalışıldığından, gerçek zamana yakın işlem yapabilmek için böyle bir ayarın yapılması gerekmektedir.



Şekil 17 – Hedefin Tespit Edildiği Kare



Şekil 18 – Hedefe Ulaşılmış Olan Bir Kare

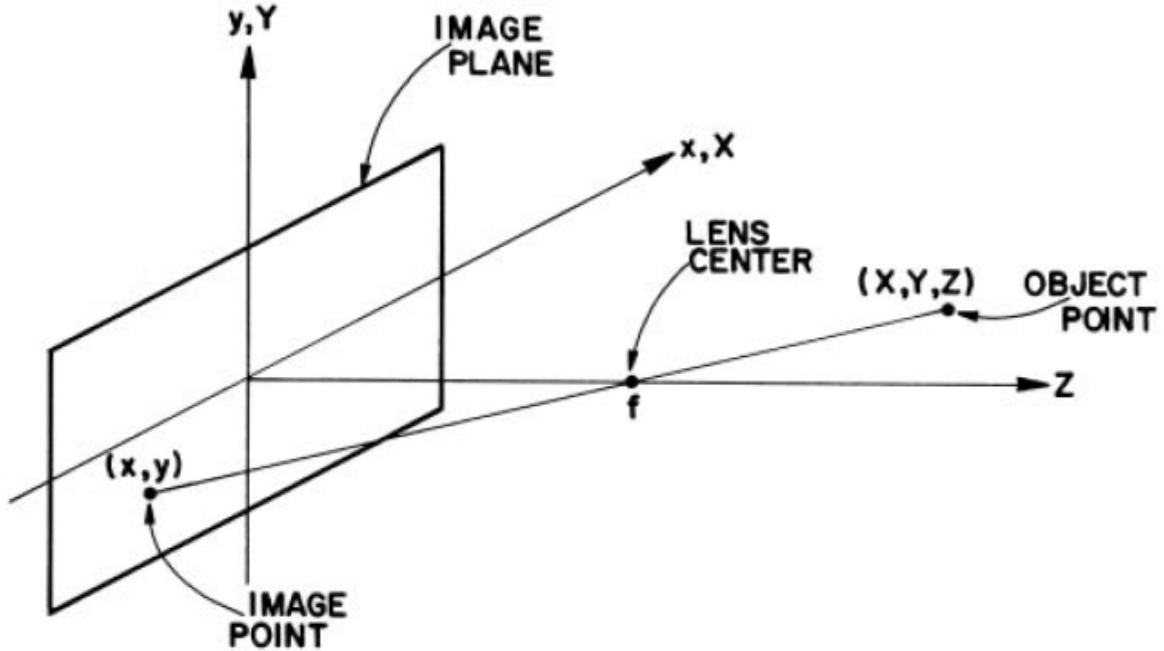


Şekil 19 – Görüntü İşleme Algoritmasının Akış Diyagramı

3.2. Kamera Kalibrasyonu

Kameradan alınan görüntü, kamera parametrelerine göre gerçek dünyada farklı uzaklık ve konum bilgileri verebilir. Pixel'ler arasındaki uzaklığın gerçekte ne kadarlık bir mesafeye denk geldiğinin tespit edilmesi gerekmektedir.

Kamera, çalışma mantığı gereği perspektif dönüşümü yapan bir düzenek olduğundan kameranın bazı parametreleri ölçülerek, ideal modelde bir kamera için kalibrasyonu yapmak mümkündür. Digital Image Processing^[6], Sayfa 386'da bahsedildiği üzere kameranın lens kırılması, distorsiyon gibi etkileri ihmal edilerek oluşturulan modeli Şekil 20'deki gibi verilebilir. Bu modele göre, eğer kameranın odak uzaklığı f biliniyorsa, görüntünün düşürüldüğü, şekilde *Image Plane* olarak gösterilen optik algılayıcı matrisinin bulunduğu düzlem üzerindeki bir noktanın gerçekte kameranın bulunduğu dünya koordinat eksenlerinden (x ve y eksenleri) ne kadar mesafede olduğunu tespit etmek için kameranın nesneye uzaklığının bilinmesi gerekir. Ancak, projede kameranın bu noktaya ulaştırılması için gereken dönüş açılarının hesaplanması yeterli olduğundan, basit bir geometrik dönüşüm yardımıyla bu açılar bulunabilir.



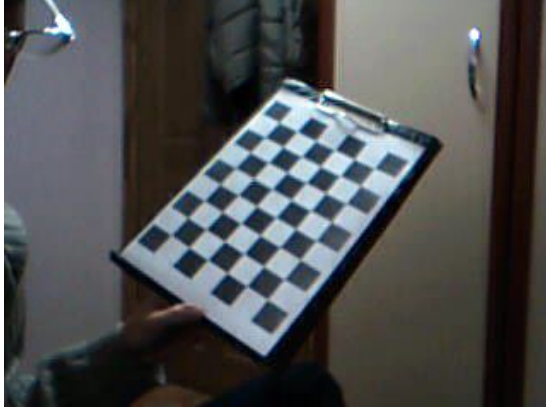
Şekil 20 – “Pinhole” Kamera Modeli

$$\alpha_x = \arctan\left(\frac{x}{f_x}\right)$$

$$\alpha_y = \arctan\left(\frac{y}{f_y}\right)$$

Burada α_x ve α_y sırasıyla x ve y eksenlerinde kameranın döndürülmesi gereken açılardır. f_x ve f_y ise ölçülen odak mesafelerinin x ve y eksenlerine göre pixel cinsinden değerleridir.

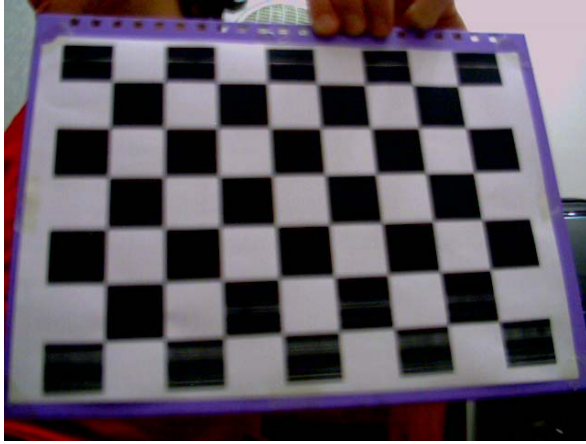
Kameranin iç değişkenlerinin kalibrasyonu için Matlab için yazılmış *Camera Calibration Toolbox*^[7] isminde bir eklenti kullanılmıştır. Bu eklenti ile kameraya özgü olan, lens distorsiyonu, odak uzaklıkları, merkez noktası (principal point), dönüş miktarı (skew) gibi ideal kamera modelinden uzaklaştıran parametreler bulunabilmektedir.



Şekil 21



Şekil 22



Şekil 23



Şekil 24

Yukarıdaki resimler kamera parametrelerini çıkarmak için kullanılan 20 resimden ikisidir. Şekil 21 ve 22'deki resimler 320x240 çözünürlüğünde bir kamerada, Şekil 23 ve 24'teki resimler ise 640x480 çözünürlüğünde görüntü alan başka bir kameradan alınmış kalibrasyon resimlerinden ikisidir. Camera Calibration Toolbox, farklı açılardan alınmış bu resimleri işleyip, kamera parametrelerini belli bir hata toleransı ile bulabilmektedir.

Kullanılan kamera için 320x240px'lik görüntü boyutunda Logitech Quickcam kamerası için bulunan ve projede kullanılan parametreler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

M_x	160 px
M_y	120 px
f_x	380 px
f_y	374 px

M_x ve M_y kameranın sensör matrisinin merkezinin gerçekte odak merkezi ile çakışık olmamasından doğan bir idealsizliği belirtmektedir. Sırasıyla lens merkezinin pixel cinsinden hangi konumda olduğu hakkında fikir vermektedir.

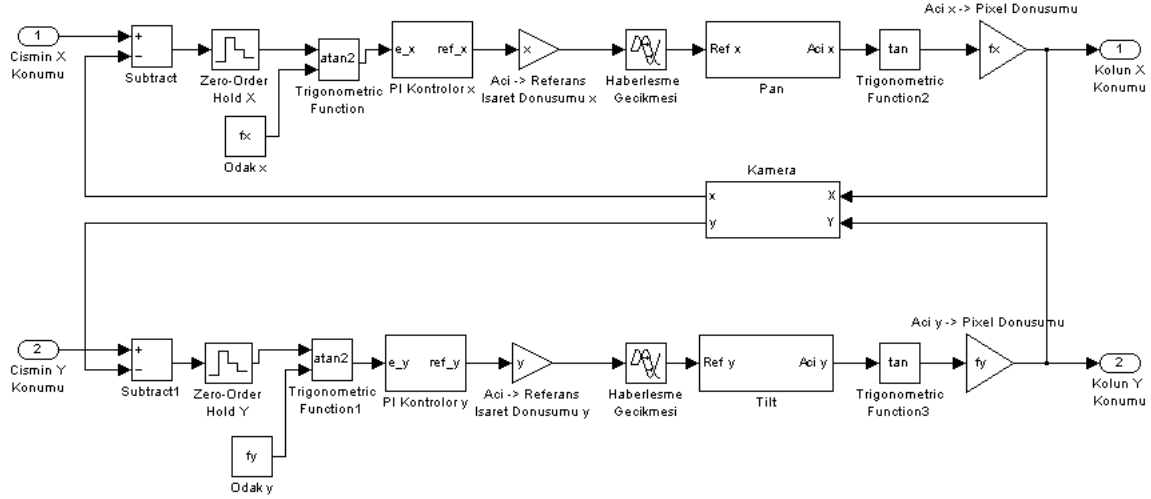
f_x ve f_y değerleri ise, kameranın yatay ve düşey ekseninde izdüşürdüğü görüntü mesafesinin pixel cinsinden aynı değerlere karşılık gelmemesinden dolayı x ve y eksenlerinde ölçülen pixel cinsinden odak uzaklığıdır. Bu iki değer gerçekte aynı mesafeye karşılık gelmesine rağmen, yatay ve düşey pixel'ler cinsinden farklı değerlerle ifade edilmektedir. Bunun nedeni bahsedildiği gibi yatay ve düşeydeki 1 pixel'lik mesafenin gerçekte yatay ve düşey için aynı mesafe değerlerinde denk gelmemesidir.

Kameraya ilişkin Skew değerleri 0 çıkmış olup, distorsiyon etkisi de ihmal edileceğinden tabloda distorsiyon katsayıları verilmemiştir. Distorsiyonun ihmal edilme nedeni, sistemin mekanik olarak kusursuz ve hatasız yerleştirilememesinden doğan, konum değişimi hassasiyetindeki azalmalardır.

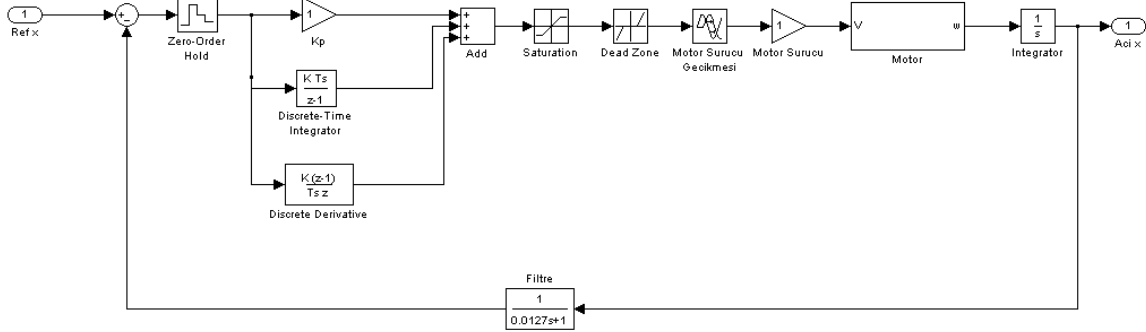
Kısaca, kamera merkezi M_x ve M_y olarak alınacak, x ve y için ölçülecek açılarda sırasıyla f_x ve f_y odak uzaklıkları kullanılacaktır. Elde edilen tüm değerler pixel cinsinden olduğundan yazılımda elde edilen görüntü matrisi üzerinde herhangi bir dönüşüme ihtiyaç duyulmadan kullanılabilir.

4. SİSTEM KONTROLÜ

Sistem kapalı çevrim kontrolü ile kontrol edilecektir. Projede doğru akım motorlarının konum kontrolleri birer alt sistem olarak düşünülmüştür. Bu alt sistemlere referans işaretini PC üzerinde çalışan görüntü işleme algoritması kameranın örnekleme periyodu kadar zaman aralıklarında verecektir. Dolayısıyla PC üzerindeki görüntü işleme algoritması aynı zamanda bir kontrol algoritmasıdır.



Şekil 25 – Genel Sistemin Blok Şeması



Şekil 26 – Alt Sistemlerden “Pan” Sisteminin Blok Şeması

Kullanılan kamera saniyede 30 kare yakalayabilen bir donanımdır. Dolayısıyla PC üzerinde çalışan algoritma ayırık zamanlı olup örnekleme periyodu $T_s = 1/30 = 0.033s$ değerindedir. Görüntü işleme algoritmasının bir kareyi işleme süresi hesaba katıldığında kameranın kare yakalama hızını yakalamam mümkün olamayabilmektedir. Ayrıca, PC üzerinde örnekleme

zamanının sabit ve bu değerde kalabilmesi açısından Şekil 25'teki blok şemada örneklemeyi temsil etmek için sıfıncı dereceden bir tutucu hata işareti eklenmiştir. Kamera donanımı, iki boyutlu çalışan bir algılayıcı olduğundan, modellemede kolaylık sağlaması açısından girişindeki konumu çıkışına veren bir sistem olarak modellenmiştir. İki girişli iki çıkışlı bir sistem gibi gözüke de, bu gösterim sadece kameranın gerçekteki çalışma biçimine uygun düşürmek amacını taşımaktadır.

Sistem çevrimindeki *arctan* ifadesi, ölçülen pixel cinsinden uzaklığı açı bilgisine dönüştüren bloğu temsil etmektedir. Bu kısım *Kamera Kalibrasyonu* kısmında açıklanmıştır.

Haberleşme gecikmesi bloğu da mikrodenetleyiciler ve PC arasındaki seri iletişimde gerçekleşecek olan zaman gecikmelerini temsil etmektedir.

Pan ve Tilt alt sistemleri motorların konum kontrolünün yapıldığı sistemleri temsil etmekte olup, sistemlerin çıkışındaki açısal konum, pixel-açı dönüşümünün tersi alınarak elde edilmektedir. Bu normalde bir gösterim biçimi olup, kameranın modellenme biçiminden kaynaklanmaktadır. Modellemede kolaylık olması açısından genel sistemin çıkış işareti pixel cinsinden alınmıştır.

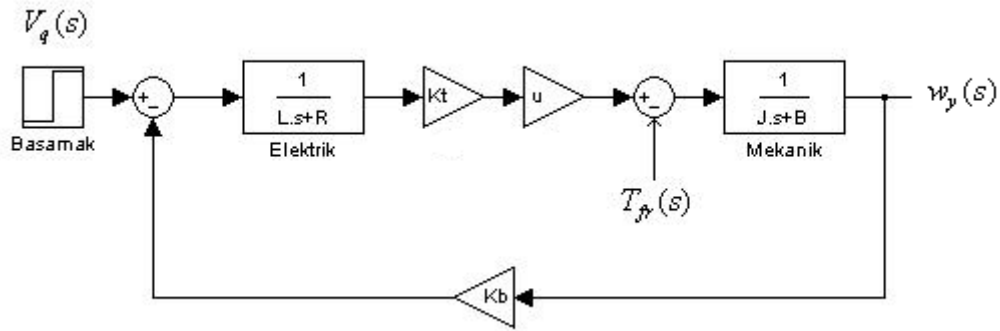
Şekil 26'da Pan sisteminin blok şeması gösterilmiştir. Ölü bölge (Dead Zone) olarak modellenen kısım motor üzerinde yapılan ölçüm ve denemeler sonucu tespit edilmiş olan bir davranıştır. Motorların statik sürtünme kuvvetine maruz kalması nedeniyle, belli bir giriş işareti değerinin altında hareketsiz kaldıkları gözlenmiştir. "Precise Position Control of Ultrasonic Motor Using Fuzzy Control with Dead-Zone Compensation"^[4] adlı makalede bahsedildiği gibi bu ölü bölge etkisi hassas konum kontrolü gereken sistemlerde bir sorun teşkil etmekte olup, kontrolör tasarlanırken bu etkiyi kompanze etmek için kazanç değerleri yeterince büyük seçilmelidir.

Sistemdeki blok diyagramda kontrolör olarak ayırık bir PID kontrolörü görülmektedir. Tilt sistemi de bu yapının aynısı olup sadece sistem modeli farklıdır.

4.1. Sistem Modelinin Elde Edilmesi

Tilt eksen konum kontrolü için hazır bir servo sistem temin edilmiştir. Bu sebeple sadece pan eksen için sistem modeli elde edilmiştir. Her iki eksen için de değişken yük torklarından kaynaklanan doğrusal olmayan etkiler söz konusudur.

Bunun için V_q giriş w_y çıkış değişkenleri arasındaki matematiksel bağıntının elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla son değer teoreminden faydalanılmıştır. Elektriksel zaman sabitinin mekanik zaman sabiti yanında çok çok küçük kaldığını düşünerek $\tau_{elk} \ll \tau_{mek}$ sistemin açık çevrim basamak yanıtına oturma süresi mekanik zaman sabitinin $\tau_{mek} = t_s / 5$ formülünden bulunmasını sağlamıştır.



Şekil 27 - V_q giriş w_y çıkış sistemin modeli

Burada:

L : Bilinmiyor, motorun endüktansı

R : 12 ohm, motorun iç direnci, ölçüm sonucu elde edildi.

Kt: Bilinmiyor, tork/akım katsayısı

Kb: 0.053, ters emk katsayısı, akım ve hız ölçümü ile elektrik denkleminde elde edildi.

u : 82, dişli çevirme oranı, yük tarafının bir tam tur dönmesine kadar motor mili çevrilerek yapılan bir deney sonucu elde edildi.

T_{fr} : Bilinmiyor, kuru sürtünme kuvveti, ölü bölgeye sebep oluyor

J : Bilinmiyor, yük miline indirgenmiş tüm sistemin toplam eylemsizliği

B : Bilinmiyor, yük miline indirgenmiş tüm sistemin toplam viskoz sürtünme katsayısı

Sistemin matematiksel modeli:

$$w_y(s) = V_q(s) \frac{K_t u}{(Ls + R)(Js + B) + K_t K_b u^2} - T_{fr}(s) \frac{(Ls + R)}{(Js + B)(Ls + R) + K_t K_b u^2}$$

Bu denkleme sistemin her iki kutbunun da sol yarı s düzleminde olduğu varsayımı ile son değer teoremi uygulanırsa:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} w_y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s w_y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s V_q(s) \frac{K_t u}{(Ls + R)(Js + B) + K_t K_b u^2} - \lim_{s \rightarrow 0} s T_{fr}(s) \frac{(Ls + R)}{(Js + B)(Ls + R) + K_t K_b u^2}$$

$$V_q(s) = \frac{V_q}{s}$$

$T_{fr}(s) = \frac{T_{fr}}{s}$ pozitif yönde hareket ederken sürekli halde kuru sürtünme kuvveti sabit bir değere eşittir.

$$\lim_{s \rightarrow 0} s w_y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{V_q}{s} \frac{K_t u}{(Ls + R)(Js + B) + K_t K_b u^2} - \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{T_{fr}}{s} \frac{(Ls + R)}{(Js + B)(Ls + R) + K_t K_b u^2}$$

$$w_y(t)|_{t=\infty} = V_q \frac{K_t u}{RB + K_t K_b u^2} - T_{fr} \frac{R}{RB + K_t K_b u^2}$$

Görüldüğü gibi sistemin $w_y = V_q m + n$ biçiminde kaymış lineer bir yapısı bulunmaktadır. Bunun nedeni sistemde kuru sürtünmeden kaynaklanan ölü bölgenin varlığıdır. Pic yazılımı içerisinde kaymış lineer yapı lineerleştirilmiştir.

m, n katsayılarının elde edilmesi için sürekli halde iki adet ölçüm alınmıştır.

$$V_q = 12V_{olt} \quad w_y = 1.885 rad / sn$$

$$V_q = 24V_{olt} \quad w_y = 4.398 rad / sn$$

Bu iki noktadan geçen birinci dereceden bir eğri uydurulmuştur. Bu eğrinin denklemi aşağıdaki gibidir.

$w_y = 0.2094 V_q - 0.6280$ bu denklem sadece pozitif yöndeki hareket için geçerlidir. Çünkü kuru sürtünme kuvveti harekete ters yönde etki etmektedir. Negatif yönde kuru sürtünme kuvveti pozitif yönde kendini göstereceğinden negatif yöndeki hareket denklemi aşağıdaki gibidir.

$$w_y = 0.2094V_q + 0.6280$$

Bu durumda ölü bölge

$$-3 \leq V_q \leq 3$$

Bu ölü bölgeye sürücünün anahtarlama elemanları üzerindeki gerilim düşümü dahil değildir. 2V kadar gerilim düşümü olduğu ölçümler sonucu tespit edilmiştir.

$$-5 \leq V_q \leq 5$$

Bu da kontrolör içerisinde

$$-426 \leq V_q \leq 426 \text{ denk düşmektedir.}$$

Yapılan gözlemler sonucu statik kuru sürtünme katsayısının kinetik kuru sürtünme katsayısından büyük olması nedeniyle kontrol işareti her iki yönde de yaklaşık olarak 512 değerini gördüğünde hareket ettiği anlaşılmıştır. Buradan ölü bölgenin dinamik olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak yazılım içerisinde kullanılacak olan lineerleştirme sınırları aşağıdaki gibidir.

$$-512 \leq V_q \leq 512$$

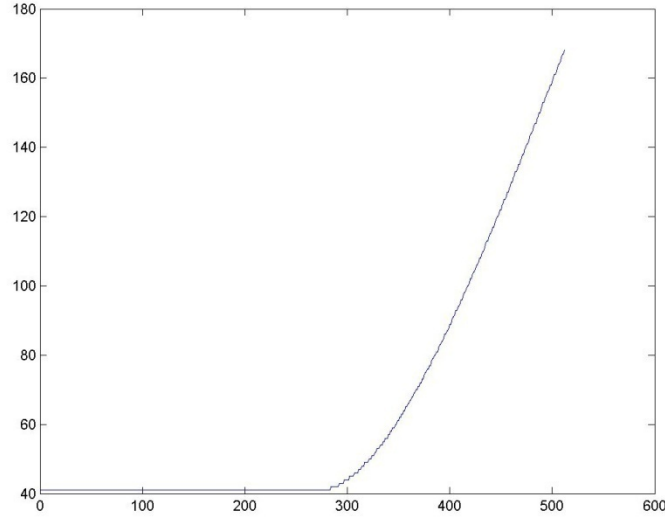
Sistemin tam olarak durmasını sağlayabilmek için yazılım içerisinde hata işareti belli bir değerin altına indiği zaman bu lineerleştirme sınırları bir önceki aralığa çekilmiştir. Hata sıfır veya çok küçük bir değer aldığıdaysa boşa elektrik enerjisi tüketimini engellemek amacıyla tamamen ortadan kaldırılmıştır.

U : kontrol işareti $0 \leq U \leq 1023$ aralığında değişmektedir. Kontrol işareti negatif veya pozitif olmasına göre sürücünün gerekli anahtarlama elemanları seçildikten sonra mutlak değeri alınıp aşağıdaki şekilde lineerleştirilmiştir.

$$U = 0.5U + 512$$

Sistemin zaman sabitini elde etmek üzere daha önce belirtildiği gibi sistemin açık çevrim transfer fonksiyonundan açısal hızın oturma süresinden faydalanılmıştır. Konum sensörü potansiyometre olduğundan hızı elde etmek için konumun zamana göre türevini almak gerekmektedir. Ancak gürültülere karşı aşırı hassas olması sebebiyle sağlıklı sonuç

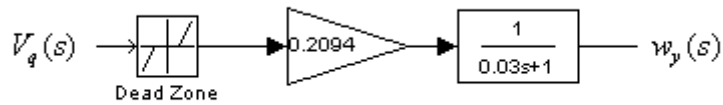
vermeyeceği düşünülmüştür. Bu amaçla oturma süresi konumun zamanla değişiminde elde edilmiştir. Bu amaçla veri toplama programından faydalanılmıştır. 3 ms örnekleme periyoduyla bilgisayara seri port üzerinden veri aktarılmıştır.



Şekil 28 - V_q giriş θ_y çıkış açık çevrim basamak yanıtı

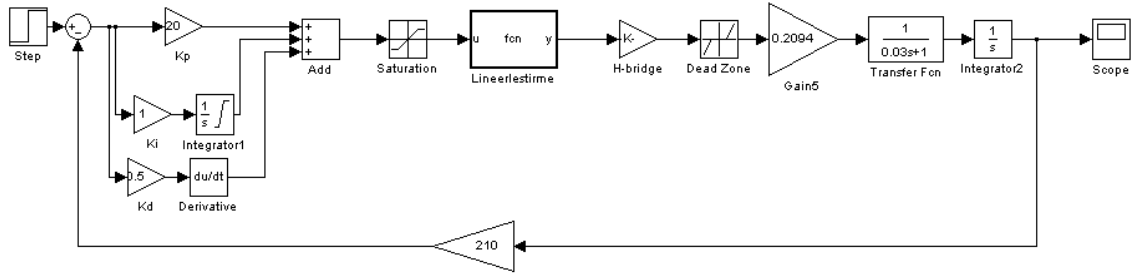
Basamak 290'ıncı örnekten başlamakta, yaklaşık olarak 340'ıncı örnekte sistem oturmaktadır. Örnekleme periyodu 3ms olduğundan sistemin 150ms'de oturduğu gözlenebilir. Buna göre sistemin mekanik zaman sabiti yaklaşık 30ms'dir.

Elde edilen sistem modeli:

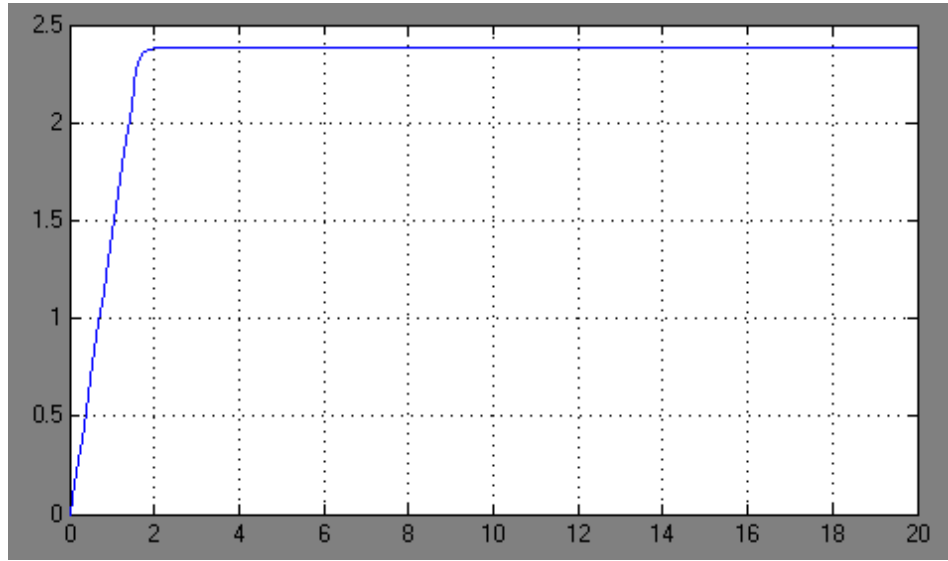


4.2. Kontrolör Tasarımı

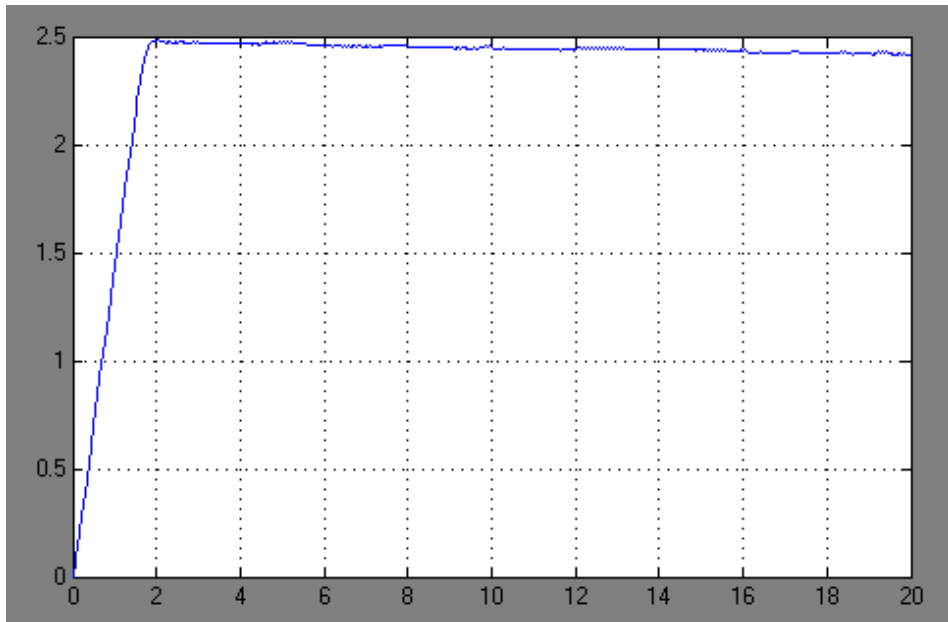
Sistemde saturasyon ve ölü bölge gibi iki önemli dikkate alınması gereken nonlineerlik mevcut olduğundan tasarımda izlenecek yöntem sistemin Simulink modeli üzerinden en uygun katsayılarla bir PID fonksiyonu elde etmeye çalışmak olmuştur. Ayrıca kontrolör içerisinde integral bileşenine alttan ve üstten sınırlama getirilerek integral sarmasına karşı önlem alınmıştır.



Şekil 29 - θ_{ref} giriş θ_y çıkış sistem modeli



Şekil 30 - Sistemin basamak yanıtı ($\theta_{ref} = 500$)



Şekil 31 - Sistemin veri toplama ile elde edilen yanıtı

Sonuç olarak elde edilen kontrolör modeli aşağıda verilmiştir.

$$G_c(s) = 20 + \frac{1}{s} + 0.5s = \frac{0.5s^2 + 20s + 1}{s}$$

Kontrolör tasarımı s düzleminde yapılmıştır. Bu nedenle elde edilen kontrolörlü sistemin beklenen davranışı gösterebilmesi için örnekleme periyodu sistemin ileri yol transfer fonksiyonunun (kontrolör de dahil) bant genişliğinin 30 katına karşılık gelen periyot değeri alınmıştır. Örnekleme zamanı 15 ms seçilmiştir.

Elde edilen bu kontrolörün gerçekleşmesiyle sistem yanıtı değişik referans değerleri için test edilmiştir. Bu testler referans farkı bir önceki konuma göre 20'den büyük olduğu durumlarda doğru sonuçlar vermektedir. Ancak çok küçük referans değişimlerinde sistemdeki ölü bölgenin dinamik olması ve statik kuru sürtünmenin konuma bağlı olarak farklı değerler alması gibi sebeplerle yavaş dönmesi gerektiği durumlarda sistem lineer bir davranış göstermemektedir.

Görüntü işleme yazılımı tarafındaki kontrolörlerin tasarımı için düşünülen model ise PI kontrolörleri olmuştur. Örnekleme periyodu yaklaşık olarak 100ms'dir. Tasarım yaparken amacımız sistemin aşım yapmaması ve mümkün olduğu en kısa sürede oturması olmuştur. Bu amaçla önce Kp katsayısı hatanın %60'ını giderecek şekilde bir ani hareket üretmesi ve sonra daha çok integral katsayısı Ki yardımıyla sistemin oturmasının sağlanması düşünülmüştür. Kp=0.6 ve Ki=1 değerleri her iki eksen için de istenilen davranışa uygun sonuçlar vermiştir.

5. SONUÇ

Proje önerisinde amaçlanan hedef takibi kontrol sistemi tasarlanmış ve performansı deneyler yardımıyla gözlenmiştir. Mekanik sistemden kaynaklanan doğrusal olmayan etkiler göz önüne alınarak simülasyonlar yapılmış ve sistemi kabul edilebilir bir yerleşme zamanında aşım yapmadan oturtacak bir kontrolör tasarlanmıştır. Kontrolörün gerçek sistem üzerinde verdiği yanıt gözlenerek simülasyonda beklenen ile yakın çıktığı tespit edilmiştir.

Mekanik bir sistemde statik ve dinamik sürtünmelerin sistem performansına doğrudan etki ettiği gözlenmektedir. Tasarlanacak bir kontrolör bu etkileri ancak kompanse edebilmekte olup, sistemin hızının daha da iyileştirilmesi için mekanik tasarım üzerinde yoğunlaşılması ve doğrusal olmayan karakteristiklerin en aza indirgenmesi gerekmektedir. Dinamik sürtünme karakteristiğinden dolayı sistemin doğrusallıktan uzaklaşması küçük referans değerlerinde artmaktadır. Ancak büyük değerli hata işaretlerinde simülasyona çok yakın yanıtlar elde edilebilmektedir.

Görüntü işleme yazılımı, kullanılan yöntem gereği parlak ışığın ve yansımanın yüksek olduğu yüzeylerde istenilen sonuçları vermeyebilmektedir. Yansımasız yüzey üzerinde, kameranın otomatik beyaz renk ayarlama gibi ayarlarının kapalı olduğu durumlarda yapılan denemelerde başarılı sonuçlar alınmıştır.

6. KAYNAKLAR

- 1) Gonzalez, Rafael C. (1987). *Digital Image Processing* (2nd ed.), Massachusetts: Addison-Wesley
- 2) Tolgay Kara, İlyas İlker (2003). *Nonlinear modeling and identification of a DC motor for bidirectional operation with real time experiments*, Energy Conversion and Management 45 (2004) 1087–1106
- 3) Gideon Ferrereira (2006). *Stereo Vision Based Target Tracking for a Gun Turret Utilizing Low Performance Components*.
- 4) Li Huafeng, Zhao Chunsheng, Gu Chenglin (2005). *Precise Position Control of Ultrasonic Motor Using Fuzzy Control with Dead-Zone Compensation*, Journal of Electrical Engineering, Vol. 56, No. 1-2, 2005, 49–52
- 5) Israr Ahmed Khan Saeed, Nitin V Afzulpurkar (2005). *Real Time, Dynamic Target Tracking using Image Motion*, Proceedings of the 2005 IEEE Conference on Mechatronics, July 10-12, 2005, Taipei, Taiwan
- 6) William K. Pratt (2001). *Digital Image Processing* (3rd ed.), John Wiley & Sons, Inc
- 7) Matlab Camera Calibration Toolbox,
http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/

EK – 1 MEKANİK DÜZENEĞİN TEKNİK ÇİZİMİ

EK – 2 MEKANİK DÜZENEĞİN FOTOĞRAFLARI

