

T.C.
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ



İKİ TEKERLEKLİ DENGEDİ DURABİLEN
ROBOTLARLARDAKİ KONTROL METOTLARI

BİTİRME TEZİ

Hazırlayan

Erdoğan KURŞUNCU

2011010226009

Tez Danışmanı

Yrd.Doç.Dr. Aytül BOZKURT

KARABÜK-2016

KABUL VE ONAY

Erdoğan KURŞUNCU tarafından hazırlanan "İki Tekerlekli Dengede Durabilen Robotlarda Kontrol Metotları" başlıklı bu tezin Lisans Bitirme Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

16/06/2016



Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Aytül BOZKURT

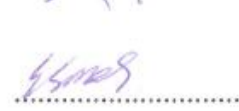
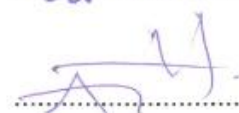
Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Lisans Bitirme Tezi olarak kabul edilmiştir. 16/06/2016

Tez Jürisi

Başkan: Doç Dr. Ahmet DEMİR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aytül BOZKURT

Üye : Am. Gör. Emre SEHER



KBÜ Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Mezuniyet Komisyonu ve Bölüm Başkanlığı bu tezi Lisans Bitirme Tezi olarak onamıştır. .16./06/2016

Doç.Dr. Ahmet DEMİR
Mekatronik Müh. Bölüm Bşk. V.



ÖNSÖZ

Bu çalışmada benden yardımlarını esirgemeyen, bana yol gösteren, fikirlerini paylaşan tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Aytül BOZKURT'a, bugünlere gelmemi sağlayan tüm saygıdeğer bölüm hocalarıma ve her zaman yanımda olan, desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunuyorum.

Erdoğan KURŞUNCU

ÖZET
İKİ TEKERLEKLİ DENGEDİ DURABİLEN
ROBOTLARDA KONTROL METOTLARI

Bu çalışmada robot çeşitleri, iki tekerlekli robot tasarımı ve kontrol metotları üzerine çalışılmıştır. Gürültü ortamında kalman filtresinin etkisi ve filtreli denetleyicilerin performanslarının karşılaştırılması sunulmuştur. Denetleyicilerin gürültü ortamındaki performansını arttırmak için kalman filtresinin tasarımı yapılmıştır. Filtreli LQR ve PI denetimli sistemlerin performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiş ve sistemin ortalama karesel hata ve yatışma süresi kriterlerine bakıldığında PI, taşma miktarı ve tepe genliği kriterlerine bakıldığında LQR denetiminin daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

ABSTRACT

Control of two-wheeled robots

In this study, the robot types were studied on two-wheeled robot design and test methods. Then a kalman filter is designed to improve controllers performance under process and measurement noises. LQR and PI controllers are compared their performances(without noise,with noise, with kalman filter under noisy condition) and are also compared performances with kalman filter to control the speed of dc motor. The simulation result show that LQR controller gives less maximum peak and overshoot, on the other hand PI controller gives less mean square error and settling time

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
ÖNSÖZ	2
ÖZET	3
ABSTRACT	4
İÇİNDEKİLER.....	5
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	8
GİRİŞ	9
BÖLÜM 1	11
ROBOTLAR VE ÇEŞİTLERİ	11
1.1. ROBOTUN TARİHÇESİ	11
1.2. ROBOT	12
1.3. ROBOT ÇEŞİTLERİ	13
1.3.1. SABİT ROBOTLAR	13
1.3.1.1. ROBOT KOLLAR - EKLEMLİ ROBOTLAR.....	13
1.3.1.2. KARTEZYEN VE KIZAK ROBOTLAR.....	16
1.3.1.3. SİLİNDİRİK ROBOTLAR.....	17
1.3.1.4. KÜRE ROBOTLAR.....	18
1.3.1.5. SCARA ROBOTLAR.....	19
1.3.1.6. PARALEL ROBOTLAR.....	20
1.3.2. TEKERLEKLİ ROBOTLAR.....	22
1.3.2.1 TEK TEKERLEKLİ ROBOTLAR.....	23
1.3.2.2 MOBİL TOP ROBOTLAR.....	25

1.3.2.3 İKİ TEKERLEKLİ ROBOTLAR.....	26
1.3.2.3.1 İKİ TEKERLEKLİ DENGEDE DURABİLEN ROBOT TASARIMI.....	26
1.3.2.4 ÜÇ TEKERLEKLİ ROBOTLAR.....	45
1.3.2.5 DÖRT TEKERLEKLİ ROBOTLAR.....	45
1.3.2.6 ÇOK TEKERLEKLİ ROBOTLAR.....	47
1.3.2.7 PALETLİ ROBOTLAR.....	47
1.3.3 AYAKLI ROBOTLAR.....	48
1.3.3.1 TEK AYAKLI ROBOTLAR.....	49
1.3.3.2 İKİ AYAKLI ROBOTLAR.....	50
1.3.3.3 ÜÇ AYAKLI ROBOTLAR.....	51
1.3.3.4 DÖRT AYAKLI ROBOTLAR.....	52
1.3.3.5 ALTI AYAKLI ROBOTLAR.....	53
1.3.3.6 ÇOK AYAKLI ROBOTLAR.....	54
1.3.4 YÜZEN ROBOTLAR.....	55
1.3.5 UÇAN ROBOTLAR.....	57
1.3.6 SÜRÜ ROBOTLAR.....	59
1.3.7 MODÜLER ROBOTLAR.....	61
1.3.8 MİKRO ROBOTLAR.....	64
1.3.9 NANO ROBOTLAR.....	65
1.3.10 YUMUŞAK ELASTİK ROBOTLAR.....	67
2 BÖLÜM 2.....	69
2.1. DOĞRUSALLAŞTIRMA.....	69

2.1.1 JACOBI LİNEER SADELİĞİ.....	69
2.2 DC MOTORUN DURUM-UZAY MODELİ.....	71
2.2.1 LQR DENETLEYİCİ.....	72
2.2.1.1 İKİ TEKERLEKLİ KENDİ KENDİNİ DENGLEYEN ROBOTUN YÖRÜNGE TAKİBİ İÇİN ARI ALGORİTMASI KULLANARAK LQR KONTROLCÜ TASARIMI.....	73
2.2.1.1.1 ARI ALGORİTMASI (AA).....	73
2.2.2 PI DENETLEYİCİSİ.....	76
2.2.3 KALMAN FİLTRESİ.....	76
2.3 SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI.....	77
2.3.1 LQR DENETLEYİCİSİNİN SİMÜLASYONU.....	79
2.3.2 PI DENETLEYİCİSİNİN SİMÜLASYONU.....	81
3 BÖLÜM 3.....	85
MATERYAL VE METOD.....	85
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	86
KAYNAKÇA.....	87
ERDOĞAN KURŞUNCU ÖZGEÇMİŞ.....	88

q : konfigürasyon vektörü
 η : hız vektörü
v : çizgisel hız
w : açısal hız
A : kısıt matrisi
S : kinematik alt sistem matrisi
M : kütle matrisi
C : koriolis matrisi
R : direnç matrisi
B : giriş matrisi
 τ : tork vektörü
 τd : bozucu vektörü
m : kütle
I : eylemsizlik
r : tekerlek yarıçapı
a : kütle merkezi ile ön aks arası mesafe
c : sol ve sağ tekerleklerin yere temas noktalarının merkeze dik uzaklığı
d : kütle merkezinin geometrik merkeze uzaklığı
N : tekerleğe yere temas noktasında etkiyen yere dik kuvvet
 μ : sürtünme katsayısı
e : hata vektörü
u : kontrol yasası
K : kazanç matrisi
h : yakınsama vektör alanı
 σ : kayan kip terimi
 ρ : kayan kip kazancı
s : kayma yüzeyi
J : eylemsizlik momenti
Ke : elektromotor kuvvet sabiti
Kt : tork sabiti
b : sürtünme sabiti
L : indüktans değeri

GİRİŞ

Bu tezde I. bölümde robotun tarihçesi ve robot çeşitleri aşağıdaki sıralamaya göre incelenmektedir;

Bu sıralamaya göre;

1. Sabit Robotlar

- 1.1. Robot Kollar - Eklemlili Robotlar
- 1.2. Kartezyen ve Kızak Robotlar
- 1.3. Silindirik Robotlar
- 1.4. Küre Robotlar
- 1.5. SCARA Robotlar
- 1.6. Paralel Robotlar

2. Tekerlekli Robotlar

- 2.1 Tek Tekerlekli Robotlar
- 2.2. Mobil Top Robotlar
- 2.3. İki Tekerlekli Robotlar
- 2.4. Üç Tekerlekli Robotlar
- 2.5. Dört Tekerlekli Robotlar
- 2.6. Çok Tekerlekli Robotlar
- 2.7. Paletli Robotlar

3. Ayaklı Robotlar

- 3.1. Tek Ayaklı Robotlar
- 3.2. İki Ayaklı Robotlar
- 3.3. Üç Ayaklı Robotlar
- 3.4. Dört Ayaklı Robotlar
- 3.5. Altı Ayaklı Robotlar
- 3.6. Çok Ayaklı Robotlar

4. Yüzen Robotlar

- 4.1. PacX Wave Glider
- 4.2. Festo Fish
- 4.3. Yüzen Swumanoid Robot

5.Uçan Robotlar

- 5.1.İnanılmaz Uçan Robot, Festo SMARTBIRD 31003
- 5.2.Küre Kafesli Uçan Quadcopter Projesi 31015

6.Sürü Robotları

7.Modüler Robotlar

8.Mikro Robotlar

9.Nano Robotlar

10.Yumuşak Elastik Robotlar

Tezin II. bölümünde ise iki tekerlekli dengede durabilen robotlarda kontrol metotları incelenmiştir.

Tezin III. bölümünde ise yapılan çalışma ile ilgili olarak sonuç ve tartışma yer almaktadır.

BÖLÜM 1

ROBOTLAR VE ÇEŞİTLERİ

1.1.Robotun Tarihçesi

”Robot” sözcüğünün ilk olarak Karel Capek adlı Çekoslovak bir yazar 1921’de yazdığı RUR (Rossum’s Universal Robots) adlı tiyatro oyununda kullanmıştır. Çekoslovakça’da ”robota” sözcüğü zorla çalıştırılan işçi demektir. Fakat robot fikri 3000 sene “öncesine kadar uzanır. Homeros’ İlyada adlı eserinde hareketli üç ayaklılardan bahsetmektedir. Jason ve Argonotlar adlı Eski Yunan efsanesinde de Talos adlı dev bronz nöbetçi karşımıza çıkar. Bu dev, tanrılar tarafından Girit adasını yabancılardan korumak üzere programlanmıştır. Bir hint efsanesinde de hareket eden mekanik fillerden bahsedilmektedir. Eski Mısırlılar yaptıkları tanrı heykellerine mekanik kollar eklemişlerdir. Bu heykeller, tanrılardan ilham aldıklarına inanılan rahipler tarafından hareket ettirilirdi. İlk dijital bilgisayar ve günümüzde de hala kullanılmakta olan abaküs M.Ö. 1000 yıllarında Hindistan’ da geliştirilmiştir. İlk otomasyon kavramını Aristo’nun ortaya attığı kabul ediliyor. M.O. 4. yüzyılda şöyle yazmış: Eğer her araç kendi işini görebilseydi yöneticilerin elemanlara ihtiyacı kalmazdı. M.O 300’l’u yıllarda mühendisler suyla çalışan otomatları yarattılar. Otomatın buradaki tanımını kendi kendine hareket eden, insan veya hayvanların davranışlarını taklit eden makinadır. Bu dönemde İskenderiye’li Hero, Herkül’ün bir

ejderhayı okla öldürüşünü ifade eden bir otomat yaptı. M.Ö. 250'de İskenderiye'li mucit Ctesibius suyla çalışan bir saat mekanizması yaptı. Bu icadın önayak olduğu otomatlar ilk nesil robotlar sayılabilir.

1.2.Robot

Robot , mekanik sistemleri ve bunlarla ilişkili kontrol ve algılama sistemleri ile bilgisayar algoritmalarına bağlı olarak akıllı davranan makinelerdir.

Robot ,yeniden programlanabilen; maddeleri , parçaları, aletleri, programlanmış hareketlerle yapılacak işe göre taşıyan veya işleyen çok fonksiyonlu makinelerdir.(robot institute of america 1979)

Robot , bir kaide üzerinde en az bir kol, tutma organları(genellikle pensler, vantuzlar veya elektromıknatıslar),pnömatik, hidrolik veya elektriksel sensörler ile konumu ve basınç algılayıcıları ile, bilgi işlem organlarıyla donatılmış kontrollü mekanik manipulelerdir.

Robot, bu konuda çalışmalarıyla tanınan Maja Mataric'in yaptığı tanıma göre, ortamdan topladığı verileri dünyası hakkında sahip olduğu bilgiyle sentezleyerek, anlamlı ve amaçlarına yönelik bir şekilde hareket edebilen ve bunu güvenli bir biçimde yapabilen bir makinedir.

Bu tanımların her biri tek bir noktada birleşir. Bir mekanizmanın robot olarak adlandırılabilmesi için dört temel kısmı içermesi gerekir. Bu temel kısımlar; robotun çevresindeki verileri algılayabilmesi için gerekli sensörler (alıcılar), verilerin toplanmasını ve kontrolü

sağlayan elektronik devreler, bu sensör verilerini kullanarak robotun amacına uygun matematiksel ve mantıksal işlemler ile karar verme olayının gerçekleşmesini sağlayan bir program (robotun mikrodenetleyicilerine yüklenecek algoritma) ve verilen kararlar doğrultusunda gerekli hareketleri gerçekleştirebilecek bir mekanik düzendir.

1.3. Robot Çeşitleri

Robotlar; sabit robotlar, tekerlekli robotlar, ayaklı robotlar, yüzen robotlar, uçan robotlar, sürü robotları, modüler robotlar, mikro robotlar, nano robotlar, yumuşak elastik robotlar olmak üzere 10 ana başlık altında incelenebilir.

1.3.1 Sabit Robotlar (İstasyon)

Sabit robotlar işlerini pozisyonlarını değiştirmeden yapan robotlardır. Robotun sabit olması hiç hareket etmemesi anlamına gelmemektedir. Sabit kelimesi ile anlatılmak istenen robotun temelinin sabit olmasıdır.

Bu tarz robotlar genellikle bir uç elemanın pozisyonunu veya oryantasyonunu değiştirerek çevresine etki etmektedir. Sabit robotlar kategorisinde robot kollar (eklemlili robotlar), kartezyen ve kızıak robotlar, silindirik robotlar, küre robotlar, SCARA robotlar ve paralel robotlar bulunmaktadır.

1.3.1.1. Robot Kollar - Eklemlili Robotlar

1.3.1.2. Kartezyen ve Kızıak Robotlar

1.3.1.3. Silindirik Robotlar

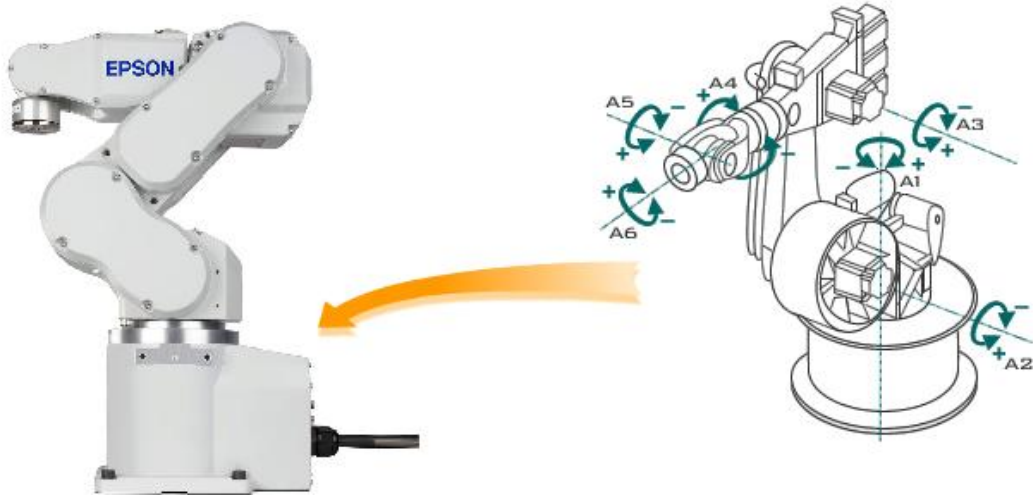
1.3.1.4. Küre Robotlar

1.3.1.5. SCARA Robotlar

1.3.1.6. Paralel Robotlar

1.3.1.1 Robot Kollar - Eklemlili Robotlar

Eklemlili robotlar, dönel eklemlili olan robotlardır (Örneğin ayaklı robotlar ya da endüstriyel robotlar). Eklemlili robotlar basit iki eklemlili yapıli sistemler halinde de oldukça karmaşık 10 eklemlili sistemler halinde de bulunabilirler. Eklemliler elektrik motorları da dahil olmak üzere pek çok çeşitli yöntemle hareket ettirilebilirler.



a. Robot Kol

b. Dönme eksenleri

Şekil 1.1 Robot Kol ve Dönme Eksenleri

Robot Kolları ile İlgili Terimler ve Tanımlar

a.Eklemlili Robot: Eklemlili robotlar çalışma alanında hareket edebilmek için dönel eklemler kullanan robotlardır. Genellikle eklemler “zincir” oluşturacak şekilde düzenlenmektedir. Böylece bir eklem kendisinden sonraki eklemleri destekleyebilmektedir.

b.Sürekli Yol: Hareket yolu üzerindeki bütün noktaların girişler ya da komutlarla belirlendiği bir kontrol şemasıdır. Yol manipülatör eklemlerinin koordine hareketleri ile kontrol edilmektedir.

c.Serbestlik Derecesi (DOF – Degrees of Freedom): Son aletin yapabileceği bağımsız hareketler. Bu hareketler manipülatörün hareketli eksen sayısı ile belirlenmektedir.

d.Kıskaç: Kavramak ve tutmak için kullanılan bir araçtır. Son manipülatör bağlantısının ucuna eklenerek kullanılmaktadır. Aynı zamanda robotun eli olarak da adlandırılmaktadır.

e.Taşıma Yüğü: Maksimum taşıma yığı manipülatörün yavaşlatılmış şekilde normal doğruluğunu koruyarak taşıyabildiği maksimum yığı miktardır. Nominal taşıma yığı manipülatörün maksimum hızda normal doğruluğunu

koruyarak taşıyabildiği maksimum yüküdür. Bu değerler yükün boyutuna ve şekline oldukça bağlıdır.

f.Topla ve Yerleştir Döngüsü: Bu döngü aşağıdaki hareket sekansını gerçekleştirmek için gereken sürenin saniye cinsinde değeridir.

Step 1: Bir inç aşağı in;

Step 2: Belirlenen yükü kavra;

Step 3: Bir inç yukarı çık;

Step 4: On iki inç ileri git;

Step 5: Bir inç aşağı in;

Step 6: Kavramayı bırak, bir inç yukarı çık;

Step 7: Başlangıç pozisyonuna geri dön.

g.Erişme (Reach): Robotun temelinden dirseğin ucuna kadar olan maksimum yatay uzaklıktır.

h.Doğruluk: Robotun asıl ulaşmak istediği nokta ile ulaştığı asıl nokta arasındaki farktır. Kesin doğruluk robot kontrol sistemi tarafından istenilen nokta ile robotun gittiği nokta olarak tanımlanabilmektedir. Tekrar edilebilirlik ise iki farklı döngü arasında oluşan farklardır.

ı.Tekrar Edilebilirlik: Bir sistem ya da mekanizmanın aynı kontrol sinyalleri ile aynı hareketleri tekrar tekrar elde edebilme yeteneğidir.

i.Çözünürlük: Mekanizmanın kontrol sistemi tarafından kontrol edilebilen ya da saptanabilen en küçük hareket ya da uzaklık artışıdır. Herhangi bir eklemin çözünürlüğü enkoderin dönüş başına darbelerinin ve sürüş oranının bir fonksiyonudur ve araç merkez noktası ile ekleme eksenindeki uzaklığa bağlıdır.

j.Robot Programı: PCler için bir robot haberleşme programıdır. Terminal emülasyon ve kullanım fonksiyonları sunmaktadır. Bu program bütün kullanıcı hafızasını ve bazı sistem hafızasını disk dosyalarına kaydedilmektedir.

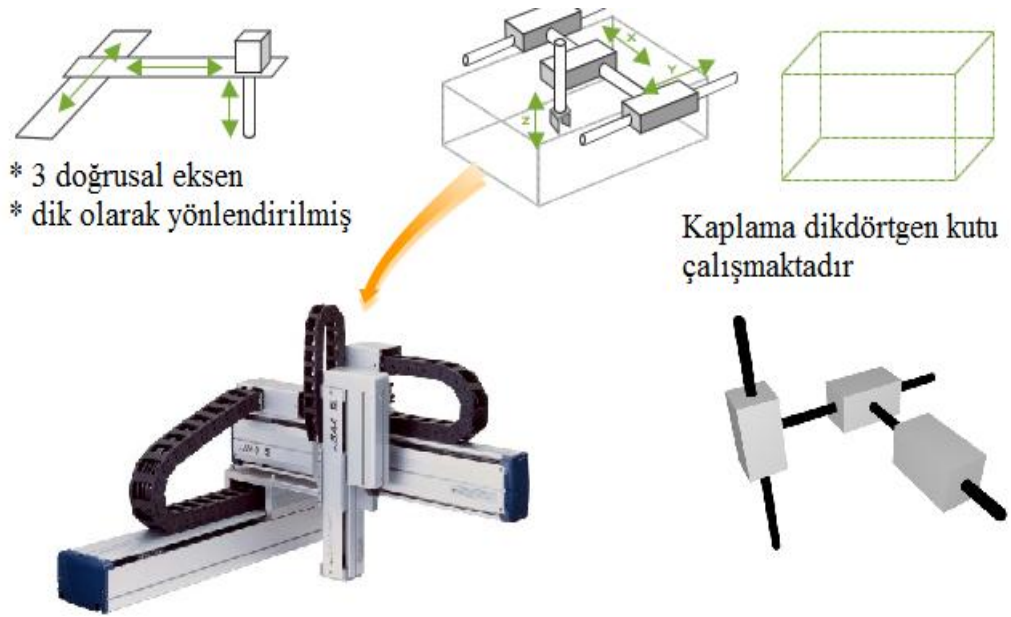
k.Maksimum Hız: Hareketli bir robotun ucunun, tüm eklemler hareket ederkenki hızının bileşkesidir. Bu hız teorik maksimum hızdır ve hiçbir durumda herhangi bir döngünün süresini hesaplamak için kullanılmamalıdır. Gerçek hız bilgisi için daha doğru bir yaklaşım 12 inçlik topla ve yerleştir döngüsünün süresidir.

I.Servo Kontrollü: Robotu kontrol eden sinyalin bir hata mekanizmasına göre üretildiğini belirtmektedir. Hatanın tanımı robotun olması gereken durumla o anki durumu arasındaki farktır.

m.Via Noktası: Robotun ucundaki aracın duraklama yapmadan geçmesi gereken noktaları tanımlamak için kullanılmaktadır. Via noktaları engellerin ötesine geçmek için ya da kolu hareketin bir kısmında eylemsizliği daha düşük bir pozisyona getirmek için programlanmaktadır.

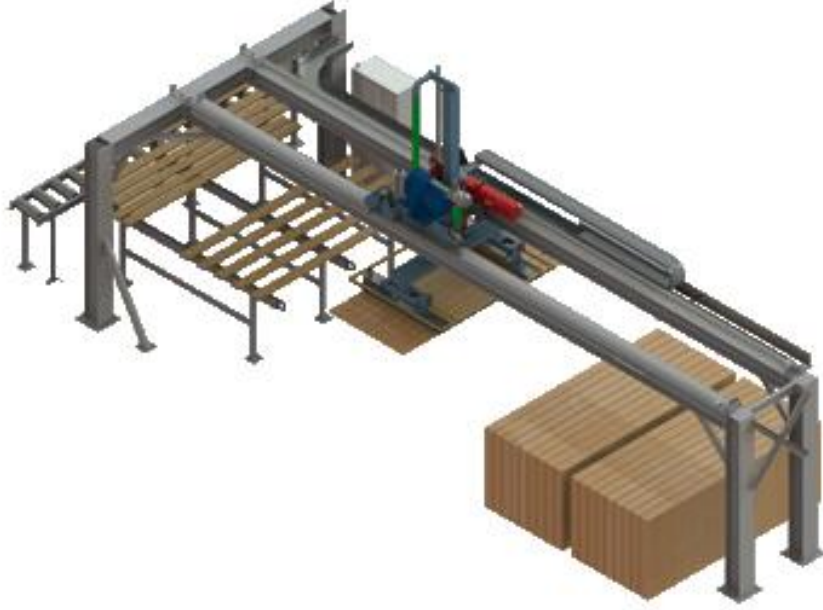
1.3.1.2.Kartezyen ve Kızak Robotlar

Kartezyen robotlara lineer robot da denir. 3 eksenleri lineer olarak kontrol edilen ve birbirlerine dik açılarla yerleştirilmiş endüstriyel robotlardır. Kayan üç eklemleri, dirseği yukarı-aşağı, içeri-dışarı ve ileri-geri götürmek amacıyla çalışmaktadırlar. Diğer avantajları yanında bu mekanik düzenleme robot kol kontrolünü oldukça basitleştirir.



Şekil 1.2 Kartezyen Robot Çalışma Prensibi

Yatay elemanı iki ucta da desteklenmiş kartezyen robotlar bazen kızak robotlar olarak da adlandırılmaktadır. Bu robotlar genellikle oldukça büyük olmaktadır.



Şekil 1.3 Kızak Robot

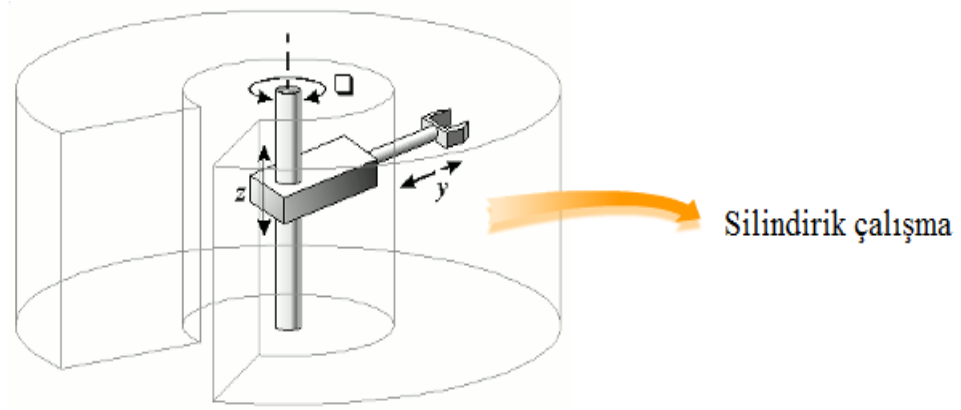
Bu tarz robotlar için popüler bir kullanım alanı CNC (computer numerical control – bilgisayarlı nümerik kontrol) makinelerdir. En basit uygulamaları freze ve çizim makinelerinde kalem ya da freze ucunun x-y ekseninde hareket ederken aynı zamanda yukarı aşağı kontrollerinin sağlanmasıdır.

1.3.1.3.Silindirik Robotlar

Silindirik robotlar eksenleri silindirik bir koordinat sistemi oluşturan robotlardır. Genellikle kullanıldığı uygulamalar:

- montaj operasyonları
- makine araçlarını kontrol etme
- nokta kaynaklama
- kalıplama makineleri

Temel kolun hareketi yukarı ve aşağı yöndedir. Robot bu hareketini kola yerleştirilmiş bir silindiri uzatarak yapmaktadır. Silindirik robotlar, yukarı aşağı hareketini bir pnömatik silindir yardımıyla gerçekleştirmektedir. Dönme genellikle motor ve dişliler sayesinde olmaktadır.



Silindirik robot hareketinin üç eksen vardır. İki lineer ve bir daireseldir.

Şekil 1.4 Silindirik Robotların Çalışma Prensibi

Silindirik Koordinat Sistemi

Silindirik bir koordinat sistemi, nokta pozisyonlarını belirli bir referans ekseninden uzaklığına, yönünün referans yönden sapması ve referans eksene dik olan bir düzleme uzaklığı ile tanımlayan üç boyutlu bir koordinat sistemidir. Son uzaklık referans düzlemin hangi yüzünün noktaya dönük olduğuna bağlı olarak pozitif ya da negatif bir sayı ile belirtilmektedir.

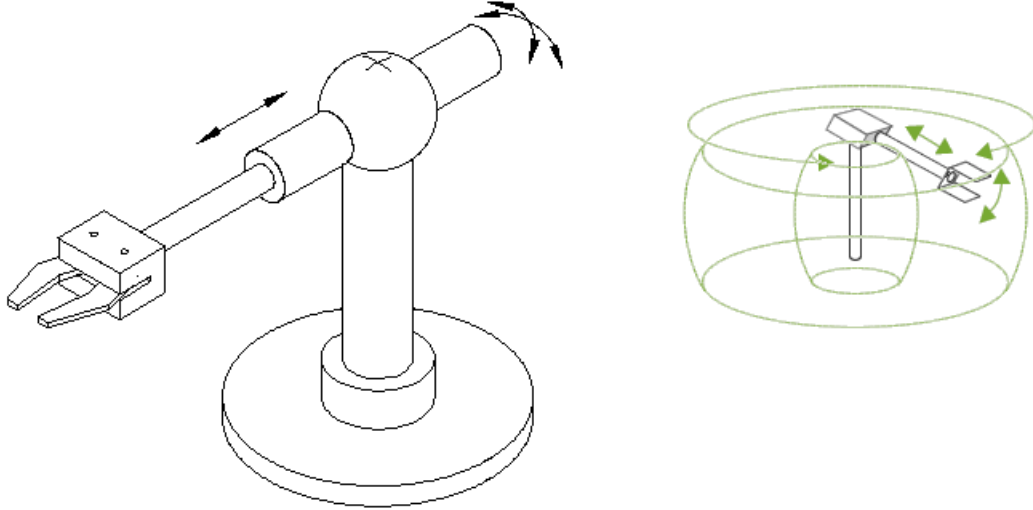
Sistemin orijini bütün koordinatların sıfır olarak verilebildiği noktadır. Bu referans düzlem ile eksenin kesiştiği noktadır.

Eksen, referans düzlem üzerindeki orijinden başlayan ve referans yönü gösteren doğru olan polar eksenden ayırmak için bazen silindirik eksen, bazen de boylamasına eksen olarak adlandırılmaktadır.

Eksene olan uzaklık radyal uzaklık ya da yarıçap olarak adlandırılmaktadır. Açısal koordinat bazen açısal pozisyon ya da azimut olarak adlandırılmaktadır. Yarıçap ve azimut beraber polar koordinatlar olarak adlandırılmaktadır.

1.3.1.4. Küre Robotlar

Küresel robotlar, iki dönel ve bir prizmatik eklemleri olan robotlardır. Yani iki dönel bir lineer eksenleri vardır. Küresel robotların küresel koordinat sistemini oluşturan bir kolları bulunur.



Küresel robot hareketinin 3 eksenli vardır.

Şekil 1.5 Küresel Robot Hareketi

Küresel Koordinat Sistemi:

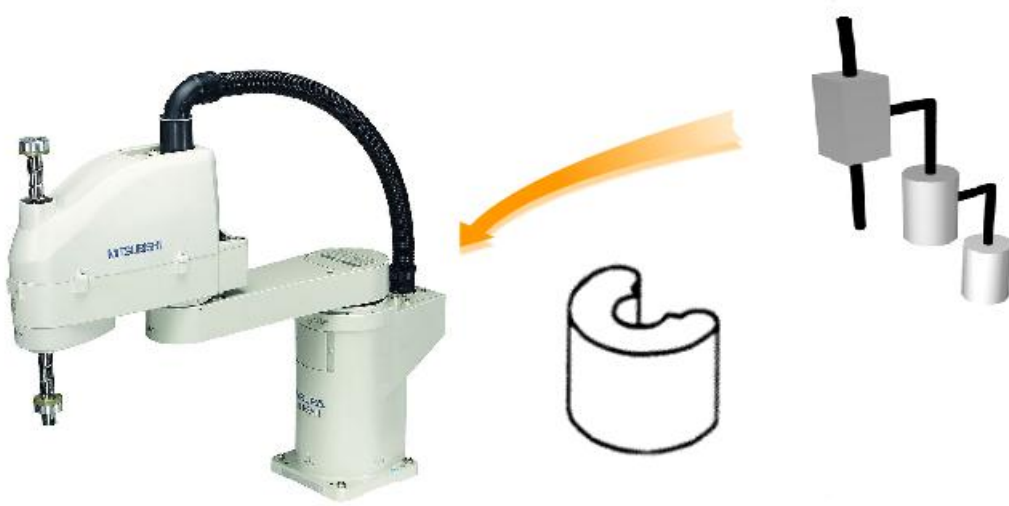
Matematikte, küresel koordinat sistemi, üç boyutlu uzayda bir noktanın pozisyonunun üç değerle anlatıldığı bir koordinat sistemidir. Bu üç değer noktanın sabit orijinden radyal uzaklığı, sabit zenit ile arasındaki polar açı, ve noktanın referans düzlem üzerindeki ortogonal projeksiyonunun azimut açısıdır.

Radyal uzaklık aynı zamanda yarıçap ya da radyal koordinat olarak da adlandırılmaktadır. Polar açı kolatitüd, zenit açısı, normal açı ya da eğilim açısı olarak adlandırılmaktadır.

1.3.1.5. SCARA Robotlar

SCARA, Selective Compliant Assembly Robot Arm (Seçici Uyumlu Montaj Robot Kolu) ya da Selective Compliant Articulated Robot Arm (Seçici Uyumlu Eklemlerli Robot Kol) kısaltmasıdır.

1981 yılında Sankyo Seiki’de Pentel ve NEC, montaj robotları için tamamen yeni bir konsept sundu. Robot Yamanashi Üniversitesi’nden profesör Hiroshi Makino rehberliğinde tamamlanmıştır. Robot SCARA (Selective Compliant Assembly Robot Arm) olarak isimlendirilmiştir. Robotun kolu Z-ekseninde oldukça sert, x-y eksenlerinde ise oldukça esnekti. Bu sayede XY eksenindeki deliklere adapte olabilmektedir.

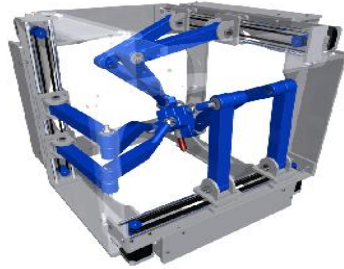


SCARA robotlar kartezyen robotlara göre daha hızlı ve daha temiz çalışan robot sistemleridir.

Şekil 1.6 SCARA Robotlar

1.3.1.6.Paralel Robotlar

Paralel manipülatör tek bir platformu ya da son aleti desteklemek için bilgisayar kontrollü farklı seri zincirler kullanan bir mekanik sistemdir. En iyi bilinen paralel manipülatör uçuş simülatörü gibi hareket edebilen bir temeli altı lineer eyleyici ile destekleyen sistemlerdir.



Hexapteron 3D yazıcı



ABB'nin IRB 360 çalışma alanı (FlexPicker)

Şekil 1.7 Paralel Robotlar

Aynı zamanda paralel robotlar olarak da bilinen bu sistemler, temeldeki robotun ya da bir ya da daha fazla manipülatörün hareket etmesi için benzer mekanizmalar kullanan eklemlili robotlardır. İsimdeki paralel kelimesi seri manipülatörlerin tersine son aracın birden fazla bağlantı ile desteklenmesindendir.

Paralel kelimesi geometrik anlamda kullanılmamıştır. Paralelden kasıt bağlantı doğrularının birbirlerine paralel olması değil, bağlantıların beraber hareket etmesidir.

Tasarım Özellikleri

Paralel manipülatörler, genellikle zincirleri kısa ve basit olacak şekilde tasarlanırlar. Bu sayede istenmeyen hareketlere karşı sert kalabilmektedir. Zincir pozisyonunda hatalar, seri robotlarda olduğu gibi her bağlantının hatasının toplamı değil ortalaması olarak son araca yansımaktadır. Seri robotlarda her eyleyici kendi serbestlik derecesinde hareket etmek durumundadır, ancak paralel robotlarda eklemlerin eksen dışı esneklikleri diğer zincirlerin etkileri nedeniyle kısıtlanmaktadır. Bu kapalı çevrim sertlik sayesinde paralel manipülatör her eklemlerle daha da sertlik kazanmaktadır. Seri zincirlerde ise her eklenen parça sertliği daha da azaltmaktadır.

Bu çift yönlü sertleşme sayesinde basit bir yapı oluşturmak mümkündür. Stewart platformu hexapod zincirleri her yöne evrensel top eklemleri arasında lineer eyleyiciler kullanılmaktadır. Top eklemler pasiftir ve eyleyici ya da fren olmadan serbestçe hareket edebilmektedir. Pozisyonları tamamen diğer zincirler tarafından kısıtlanmaktadır. Delta robotlarda paralelogram kol temele yerleştirilmiş dönel eyleyiciler tarafından hareket ettirilmektedir. Son alet bu kollardan üçü arasına basit top eklemlerle tutturulabilmektedir. Paralel robotların statik temsilleri pin eklemlerle çatı makaslarına çok benzerdir. Bağlantılar ve eyleyicileri sadece tansiyon ve kompresyona maruz kalmaktadır. Eğilme ve tork etkileri görülmediğinden eklemlerin esneklikleri üzerindeki eksen dışı etkiler yok edilmiş olur.

Paralel manipülatörlerin bir diğer avantajı da ağır eyleyicilerin genelde tek bir merkeze monte edilebilmeleridir. Kolun üzerindeki kütleler azaldığı için daha hafif kollar kullanılabilir ve daha küçük eyleyicilerle daha hızlı hareket sağlanabilir. Bu merkezleşme robotun toplan eylemsizlik momentini düşürür, bu da mobil ya da yürüyen robotlar için bir avantajdır.

Bütün bu özellikler geniş hareket menziline sahip manipülatörler oluşmasına olanak sağlar. Hareket hızları genellikle güçleri değil de sertlikleri nedeniyle kısıtlandığı için seri manipülatörlere göre daha hızlı hareket edebilirler.

Seri Manipülatörlerle Karşılaştırma

Çoğu robot uygulaması sertlik ihtiyacı duyar. Seri robotlar bu sertliği tek eksenle hareket edebilen ama bunun

dışındaki hareketlerde sertliğini koruyan yüksek kaliteli dönel eklemler ile sağlar. Harekete izin veren her eklem bu hareketi bir eyleyicinin planlı kontrolü altında yapmalıdır. Bu nedenle birkaç eksen isteyen bir hareket o kadar sayıda ekleme ihtiyaç duyar. Bir eklemden istenmeyen bir esneklik ya da eğim aynı eğim ve esnekliğin kolda da yaşanmasına sebep olur. Bir eklem hareketiyle diğerini telafi etmesi imkanı da yoktur. Bu eklemlerin önlenemeyen histerezisleri ve eksen dışı esneklikleri kolun kinematik zinciri boyunca toplanarak son alete eklenir. Yüksek kesinlikte bir kol kesinlik, karmaşıklık ve maliyet arasında bir orta nokta bulmaktan geçmektedir. Paralel manipülatörlerin bir dezavantajları, seri manipülatörlerle karşılaştırıldıklarında limitli çalışma alanlarıdır. Bu limitin sebebi ayakların çarpışabilmesi ve hexapod için düşünüldüğünde) her ayağın kendi mekanik limitleri olan beş pasif eklemi olmasıdır. Bir başka dezavantajı ise tekil pozisyonlarda sertliklerini kaybetmeleridir (Robot sonlu ya da sonsuz sayıda kontrol edilemeyen özgürlük derecesi kazanır, bu nedenle sarsıntılı ve mobil olur). Bu eklem uzayından Öklid uzayına transfer matrisi olan Jakoben matrisinin tekil olması nedeniyle oluşur. (Matrisin derecesi 6dan aşağı düşer).

Uygulamalar

Bu araçların en çok kullanıldıkları endüstriyel uygulamalar:

- Uçuş simülatörleri
- Otomobil Simülatörleri
- İş süreçleri
- Fotonik / Fiberoptik sıralama

Aynı zamanda aşağıdaki uygulamalarda da popüler olmuşlardır:

- Limitli çalışma alanında yüksek hızda yüksek doğruluk isteyen uygulamalar. PCB montajı gibi
- Büyük ama yavaş seri manipülatörlerin uçlarına mikro manipülatörler olarak
- Yüksek hız yüksek kesinlik gerektiren freze makinelerinde Paralel robotlar genellikle çalışma alanı açısından daha limitlidirler. Örneğin genellikle engellerin etrafından dolaşamazlar. İstenen bir manipülasyonu yapmak için gerekli hesaplamalar daha zordur ve genellikle birden fazla çözümü vardır.

1.3.2.Tekerlekli Robotlar

Tekerlekli robotlar pozisyonlarını tekerlekleri ile değiştirebilen robotlardır. Tekerlekli hareketi mekanik olarak sağlamak üretim açısından kolay ve düşük maliyetlidir. Aynı zamanda tekerlekli hareketin kontrolü diğer mobil robotlara

oranla daha kolaydır. Bu nedenle tekerlekli robotlar en sık karşılaşılan mobil robot tiplerindendir.

Bu robot sınıfı kendi içerisinde çoğunlukla tekerlek sayısına göre kategorilendirilir. Bu alt kategoriler içerisinde tek tekerlekli robotlar, mobil top robotlar, iki tekerlekli robotlar, üç tekerlekli robotlar, dört tekerlekli robotlar, çok tekerlekli robotlar ve aslında tekerlekli olmasalar da çalışma prensibi açısından çok benzer olduklarından paletli robotlar bulunmaktadır.

2.1 Tek Tekerlekli Robotlar

2.2.Mobil Top Robotlar

2.3.İki Tekerlekli Robotlar

2.4.Üç Tekerlekli Robotlar

2.5.Dört Tekerlekli Robotlar

2.6.Çok Tekerlekli Robotlar

2.7.Paletli Robotlar

1.3.2.1 Tek Tekerlekli Robotlar

Tek tekerlekli robotlar yerle tek temas noktaları olduğu için dengede kalmakta zorluk yaşarlar. İnsanlarla etkileşimde bulunmak için yeterli uzunluktaki çok tekerli statik stabil mobil robotların düşük yerçekimi merkezleri, geniş destek temelleri ve devrilmemek için düşük ivmelenmeleri olmalıdır. Bu şartlar bir çok performans limitine sebep olmaktadır.



Tek tekerlekli robotların zemin ile teması tek noktaya olması nedeniyle dengesi zordur.



Dinamik kararlı tek tekerlekli robotlar potansiyeli çok çevik ve kompakt olmak zorunda.

Şekil 1.8 Tek Tekerlekli Robotlar

Bu duruma uygun olarak istenenlerin tam tersi özelliklerde bir mobil robot tipi bulunmaktadır. Bu tek tekerli robot bir insanın boyu genişliği ve ağırlığındadır. Ağırlık merkezi yüksektir ve dengesi iki tekerli platformlardaki gibi bir yönde hareket etmek için dönme gerektirmek yerine, dinamik olarak sağlanmaktadır. Tek tekerlekli robotlar her yöne direk hareket edebilirler.

Çok önemli ancak genellikle göz ardı edilen bir problem ise statik olarak stabil olan tek tekerlekli robotlar kolaylıkla dinamik olarak stabilitelerini kaybedebilirler. Örneğin:

- Ağırlık merkezi çok yukarıda ise
- Robot çok hızlı ivmelenirse
- Eğimli bir yüzeyde ise

Bir robot insanlarla ve insan çevreleriyle etkileşimde bulunabilmek için uzun boylu olmalıdır. Diğer yandan kolaylıkla hareket edebilmek ve insanların önünü tıkamamak için yeterince ince olmalıdır.

1.3.2.2.Mobil Top Robotlar

Morphex Projesi

Morphex aslında bir hexapod olan mobil bir top robottur. Ayakları bir araya geldiğinde robot bir küre oluşturur ve yerde top gibi yuvarlanabilir. Morphex hareket sistemi çoğu robottan farklı kendine has bir sistemdir.



Şekil 1.9 Morphex Hareket Sistemi

Diğer Robot Teknolojileri

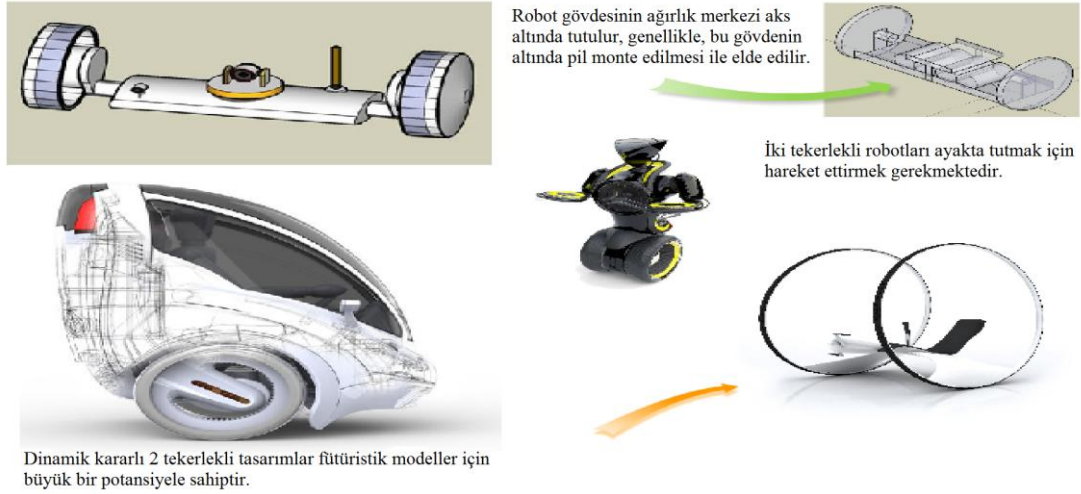
Tesisat denetçileri genellikle gömülü boruları incelemek için direk olmayan metotlar kullanırlar. Bunlar arasında, paslanmış yerleri tespit etmek için elektrik akımı geçirmek, ultrason teknikleri kullanarak çatlakları saptamak vardır. Bunu sebebi direk izleme boruları incelemek için kazarak çıkarma gerektirmektedir. Bu da maliyetli ve zaman alıcıdır.

MIT'den araştırmacılar yer altı boru hatlarında hareket edebilecek küçük yumurta benzeri robotlar geliştirmekteler. Bu top robotlar boruların içlerinde gezinerek çatlak ve paslanmaları rahatça kontrol edebilecekler. Kameralara sahip olan top robotlar, görüntüleri gerçek zamanlı olarak aktarabilme yeteneğine sahipler.

Araştırmacılar 3B yazıcılarla üretilen özel Y şekilli valflerden bir ağ yarattılar. Belirli valfleri kapatarak top robotlar istenilen yönde ilerleyebiliyorlar.

1.3.2.3. İki Tekerlekli Robotlar

Tek tekerlekli ya da top robotlar gibi iki tekerlekli robotlar da diğer tip robotlara oranla denge problemi yaşarlar. Bunun sebebi dengede kalabilmek için harekete devam etme gereklilikleridir. İki tekerli robotlarda robotun ağırlık merkezinin dingilin altında olması gerekmektedir. Bunu başarmak için genellikle batarya gibi ağır parçalar, gövdenin alt kısmına yerleştirilir.

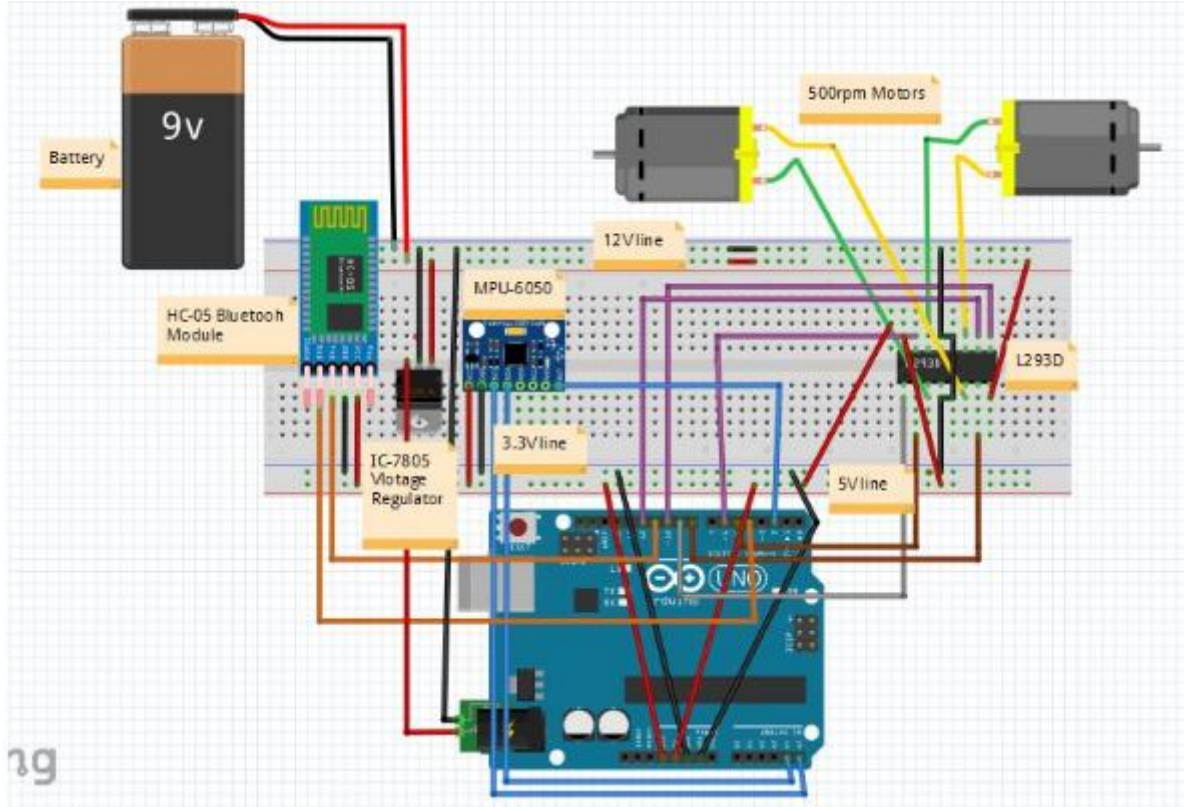


Şekil 1.10 İki Tekerlekli Robot Dengesi

İki tekerlekli robotlar, tekerlekleri birbirlerine paralel ya da arkalı önlü dizilmiş olabilir. İki tekerlekli robotlar dengede durmak için hareketlerine devam etmek zorundadırlar. Aracın düşme yönüne doğru dönüş hareketi yapması dengesini yeniden kazanmasını sağlar. Sağ ve sol tekerleri bulunan bir robotun dengede durmak için en az iki sensöre ihtiyacı vardır. Bunlardan biri tilt açısını ölçmek için bir sensör ve diğeri robotun pozisyonunu öğrenmek için motor enkoderleridir.

1.3.2.3.1 İki Tekerlekli Dengede Durabilen Robot Tasarımı

Yapacağımız denge robotu android cihazdan kontrol edilecektir. Robotumuzun kontrol sisteminde dengede durması için gyro sensörden gelen açı analiz edilmektedir ve PID kontrol sistemiyle açıya göre motorlara ivmelenme vererek dengeyi sağlamaktadır. Kullanacağımız motorların enkoderli olması avantaj sağlayacaktır.



Şekil 1.11 Sistemin Genel Tasarım Şeması

Proje de Kullanılan Malzemeler

a. 6V 250 Rpm Motor ve Tekerlek Seti

Plastik redüktörlü motor ve tekerlek seti basit uygulamalarda kullanabileceğiniz bir üründür.

Motorda iki ayrı noktadan mil çıkışı olduğu için sağ ve sol kullanımlarda rahatlıkla kullanılabilir.

Özellikler

Çalışma Voltajı: 3-6V

Hız: 250 Rpm(@6V)

Ağırlık: 29gr

Teker Ölçüleri

Çapı: 70mm

Kalınlık: 30mm

Ağırlık: 45gr



Şekil a. 6V 250 Rpm Motor ve Tekerlek Seti

b. MPU6050 6 Eksen İvme ve Gyro Sensörü gy-521

MPU-6050 çeşitli hobi, multicopter ve robotik projelerinde sıklıkla kullanılan üzerinde 3 eksenli bir gyro ve 3 eksenli bir açısal ivme ölçer bulunduran 6 eksenli bir IMU sensör kartıdır.

Kart üzerinde voltaj regülatörü bulunduğundan 3 ile 5 V arası bir besleme voltajı ile çalıştırılabilir. İvme ölçer ve gyro çıkışlarının her ikisi de ayrı kanallardan I²C çıkışı vermektedir. Her ekseninde 16 bitlik bir çözünürlükle çıkış verebilmektedir.

Pinler arası boşluk standart olarak ayarlandığı için breadboard veya farklı devre kartlarında rahatlıkla kullanılabilir.

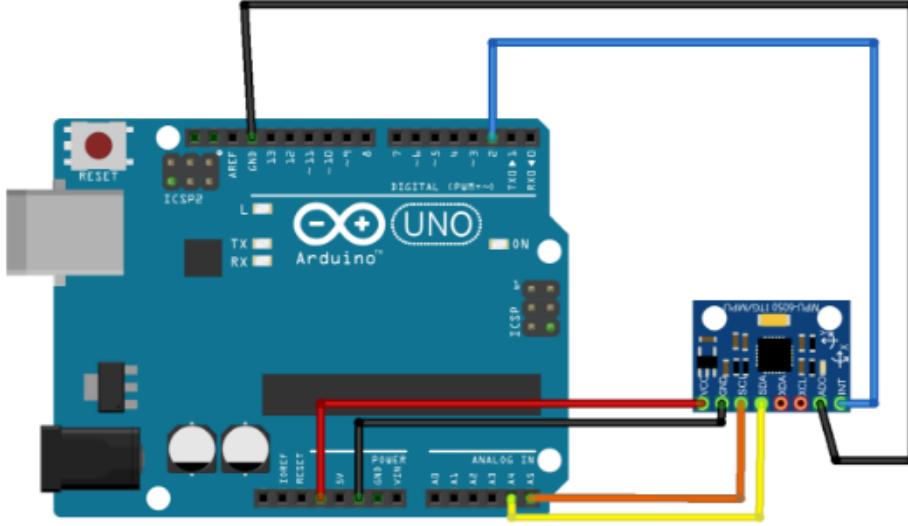
Özellikleri

Çalışma gerilimi: 3-5V

Gyro ölçüm aralığı: + 250 500 1000 2000 ° / s

Açısal ivme ölçer ölçüm aralığı: $\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16$ g

İletişim: Standart I²C



Şekil b. MPU6050 6 Eksen İvme ve Gyro Sensörü gy-521 ve Çalışma Prensibi

c. L298N Motor Sürücü Kartı

Kart üzerinde 1 adet L298N motor sürücü entegresi mevcuttur. Kanal başına 2A'e kadar akım verebilmektedir. Motor voltajı 6-15V arası kullanılabilir. Besleme gerilimi 5V ise kart üzerindeki Vcc-5V jumpere kısa devre yapılarak kullanılmaktadır.

Kartın kullanılmayan tüm pinleri kart üzerindeki 4'lü konnektörlere çevrilerek genel kullanım için bırakılmıştır.

Özellikler

2 adet DC motorun bağımsız kontrolü

1 adet step motorun bağımsız kontrolü

Her bir kanaldan sürekli 2A'e kadar verebilmektedir.

Sensör bağlantıları için boş bırakılmış analog ve dijital giriş pinleri

Ürün Boyutları: 68x55x30mm

Ağırlık: 37g



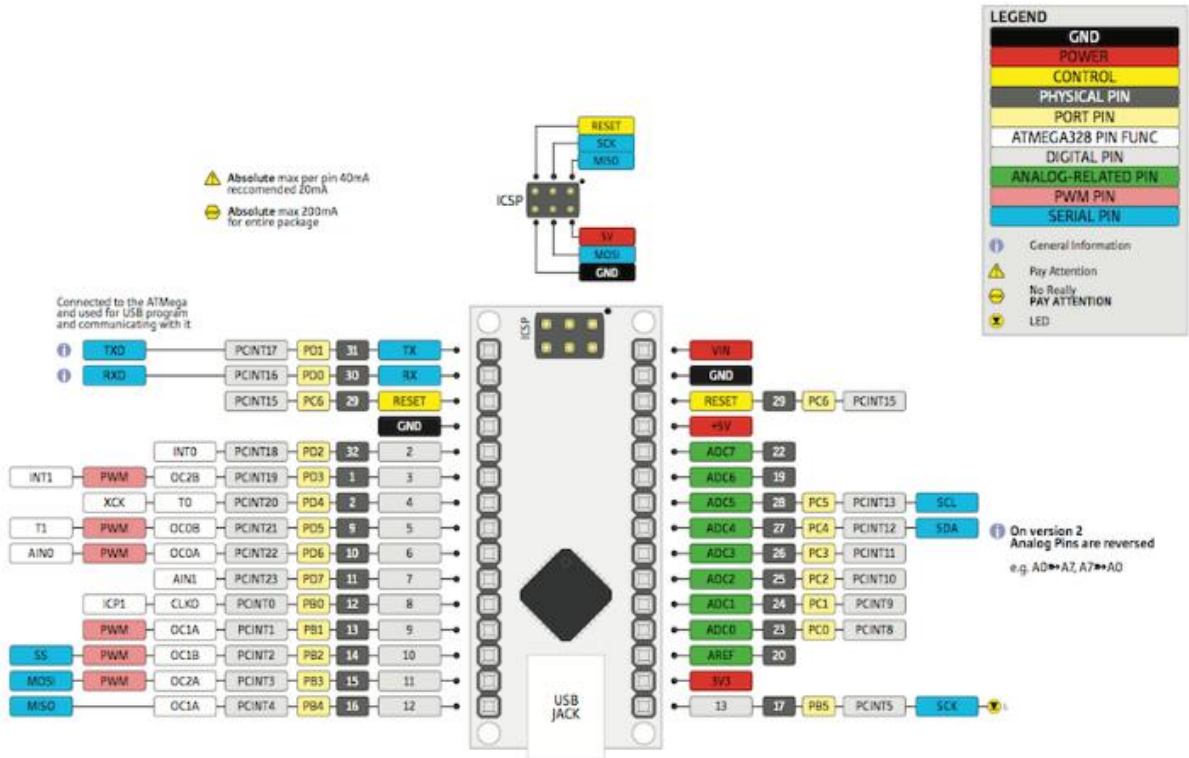
Şekil c. L298N Motor Sürücü Kartı

d. Arduino Nano

Arduino Nano; Atmega328 temelli bir mikrodenetleyici kartıdır. Üzerinde 14 adet dijital giriş/çıkış pini (6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir), 8 analog giriş, 16Mhz kristal, usb soketi, ICSP konektörü ve reset tuşu bulundurmaktadır. Kart üzerinde mikrodenetleyicinin çalışması için gerekli olan her şey bulunmaktadır. Kolayca usb kablosu üzerinden bilgisayara bağlanabilir, adaptör veya pil ile çalıştırılabilir.

Teknik Özellikler

- Mikrodenetleyici ATmega328
- Çalışma Gerilimi 5V
- Giriş Gerilimi (önerilen) 7-12V
- Giriş Gerilimi (limit) 6-20V
- Dijital I/O Pinleri 14 (6 tanesi PWM çıkışı)
- Analog Giriş Pinleri 8
- Her I/O için Akım 40 mA
- .3V Çıkış için Akım 50 mA
- Flash Hafıza 32 KB (ATmega328) 2 KB kadarı bootloader tarafından kullanılmaktadır
- SRAM 2 KB (ATmega328)
- EEPROM 1 KB (ATmega328)
- Saat Hızı 16 MHz
- Uzunluk 45 mm
- Genişlik 18 mm
- Ağırlık 5 g



Şekil d. Arduino Nano ve Çalışma Prensibi

Güç

Arduino Nano gücünü usb üzerinden veya harici güç kaynağından alabilir. Harici güç kaynağı AC-DC adaptör olabileceği gibi bataryada olabilir. Adaptör ve batarya kart üzerindeki GND ve Vin pinleri üzerinden bağlanabilir.

Kartın çalışması için sürekli olarak usb'nin bağlı olması şart değildir. Kart sadece adaptör veya batarya ile çalıştırılabilir. Bu sayede kart bilgisayardan bağımsız olarak çalıştırılabilir.

Harici güç kaynağı olarak 6-20V arası kullanılabilir. Ancak bu değerler limit değerleridir. Kart için önerilen harici besleme 7-12V arasıdır. Çünkü kart üzerinde bulunan regülatör 7V altındaki değerlerde stabil çalışmayabilir. 12V üstündeki değerlerde de aşırı ısınabilir.

Nano kartının üzerindeki mikrodenetleyicinin çalışma gerilimi 5V'dur. Vin pini veya güç soketi üzerinden verilen 7-12V arası gerilim kart üzerinde bulunan voltaj regülatörü ile 5V'a düşürülerek karta dağılır.

Güç pinleri aşağıdaki gibidir:

-VIN: Harici güç kaynağı kullanılırken 7-12V arası gerilim giriş pini.

-5V: Bu pin regülatörden çıkan 5V çıkışı verir. Eğer kart sadece usb (5V) üzerinden çalışıyor ise usb üzerinden gelen 5V doğrudan bu pin üzerinden çıkış olarak verilir. Aynı zamanda bu pin üzerinden 5V girişi yapılabilir. Eğer karta güç Vin (7-12V) üzerinden veriliyorsa regülatörden çıkan 5V doğrudan bu pin üzerinden çıkış olarak verilir.

-3V3: Kart üzerinde bulunan 3.3V regülatörü çıkış pinidir. Maks. 50mA çıkış verebilir.

-GND: Toprak pinleridir.

Hafıza:

Atmega328 32 KB'lık flash belleğe sahiptir (2 KB kadarı bootloader tarafından kullanılmaktadır). 2 KB SRAM ve 1 KB EEPROM'u bulunmaktadır.

Giriş ve Çıkış:

Nano üzerindeki 14 adet dijital pinin hepsi giriş veya çıkış olarak kullanılabilir. 8 tane analog giriş pininde bulunmaktadır. Bu analog giriş pinleride aynı şekilde dijital giriş ve çıkış olarak kullanılabilir. Yani kart üzerinde toplam 20 tane dijital giriş çıkış pini vardır. Bu pinlerin tamamının lojik seviyesi 5V'dur. Her pin maks. 40mA giriş ve çıkış akımı ile çalışır. Ek olarak, bazı pinlerin farklı özellikleri bulunmaktadır. Özel pinler aşağıda belirtildiği gibidir.

-Seri Haberleşme, 0 (RX) ve 1 (TX): TTL Seri veri alıp (RX), vermek (TX) için kullanılır. Bu pinler doğrudan kart üzerinde bulunan FT232 usb-seri dönüştürücüsüne bağlıdır. Yani bilgisayardan karta kod yüklerken veya bilgisayar-nano arasında karşılıklı haberleşme yapılırken bu pinler kullanılır. O yüzden karta kod yüklerken veya haberleşme yapılırken hata olmaması için mecbur kalınmadıkça bu pinlerin kullanılmamasında fayda vardır.

-Harici Kesme, 2 (interrupt 0) ve 3 (interrupt 1): Bu pinler yükselen kenar, düşen kenar veya değişiklik kesmesi pinleri olarak kullanılabilir. Ayrıntılı bilgi için attachInterrupt() fonksiyon sayfasını inceleyebilirsiniz.

-PWM, 3,5,6,9,10 ve 11: 8-bit çözünürlükte PWM çıkış pinleri olarak kullanılabilir.

-SPI, 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK): Bu pinler SPI haberleşmesi için kullanılır.

-LED, 13: Nano üzerinden 13. pine bağlı olan dahili bir led bulunmaktadır. Pin HIGH yapıldığında led yanacak, LOW yapıldığında led sönecektir.

-Analog, A0-A7: Nano 8 tane 10-bit çözünürlüğünde analog giriş pinine sahiptir. Bu pinler dijital giriş ve çıkış içinde kullanılabilir. Pinlerin ölçüm aralığı 0-5V'dur. AREF pini ve analogReference() fonsiyonu kullanılarak alt limit yükseltilebilir, üst limit düşürülebilir.

-I2C, A4 veya SDA pini ve A5 veya SCL pini: Bu pinler I2C haberleşmesi için kullanılır.

-AREF: Analog giriş için referans pini.

-Reset: Mikrodenetleyici resetlenmek istendiğinde bu pin LOW yapılır. Reset işlemi kart üzerinde bulunan Reset Butonu ile de yapılabilir.

Haberleşme:

Arduino Nano'nun bilgisayarla, başka bir arduino veya mikrodenetleyici ile haberleşmesi için bir kaç farklı seçenek vardır. Atmega328, 0 (RX) ve 1 (TX) pinleri üzerinden UART TTL (5V) seri haberleşme imkanı sunar. Kart üzerinde bulunan FT232 usb-seri dönüştürücüde bilgisayarda sanal bir com port açarak Atmega328 ile bilgisayar arasında bir köprü kurar. Arduino bilgisayar programı içerisinde barındırdığı seri monitör ile arduino ile bilgisayar arasında text temelli bilgilerin gönderilip alınmasını sağlar. Usb-seri dönüştürücü ile bilgisayar arasında usb üzerinden haberleşme olduğu zaman kart üzerinde bulunan RX ve TX ledleri yanacaktır. Nano üzerinde donanımsal olarak bir adet seri port bulunmaktadır. Ancak SoftwareSerial kütüphanesi ile bu sayı yazılımsal olarak arttırılabilir.

Atmega328 aynı şekilde I2C ve SPI portlarında sağlamaktadır. Arduino bilgisayar programı ile gelen Wire kütüphanesi I2C kullanımını, SPI kütüphanesi de SPI haberleşmesini sağlamak için kullanılır.

Programlama:

Arduino Nano kartı Arduino bilgisayar programı (Arduino IDE) ile programlanır. Programda Tools > Board sekmesi altında Arduino Nano'yu seçip programlamaya başlayabilirsiniz. Arduino Nano üzerindeki Atmega328 üzerine bootloader denilen özel bir yazılım yüklü gelir. Bu

sayede kartı programlarken ekstra bir programlayıcı kullanmanıza gerek yoktur.Haberleşme orjinal STK500 protokolü ile sağlanır.

Bootloader yazılımı bypass edilerek kart doğrudan mikrodenetleyicinin ICSP header'i üzerinden ISP programlayıcı ile programlanabilir (Referans).

e. Projenin Arduino Kodları

```
#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050_6Axis_MotionApps20.h"
#if I2CDEV_IMPLEMENTATION ==
I2CDEV_ARDUINO_WIRE
#include "Wire.h"
#endif
MPU6050 mpu;
#define OUTPUT_READABLE_YAWPITCHROLL
#define LED_PIN 13
bool blinkState = false;
```

```
double P = 300 ,          D = 28000 ,          I = 1.2  ;
```

```
#define AIL LOW
#define AILPIN 2
```

```
#define AILMID 1500
```

```
#define ROLL HIGH
#define ROLLPIN 3
#define ROLLMID 1500
```

```
volatile int AILin = AILMID;
volatile unsigned long StartAIL = 0;
volatile boolean NewAIL = false;
```

```
volatile int ROLLin = ROLLMID;
volatile unsigned long StartROLL = 0;
volatile boolean NewROLL = false;
```

```
unsigned long sondurum;
double Ihata, sonhata, hata, output, ref, Iout;
float roll, aileron, kumandaail, pitch, elevator,
kumandaelev, in;
```

```

double  motor1 = 0 , motor2 = 0 ;
double  output1, output2, sagsol;

const int pwm_sol = 5;
const int solmotor_in1 = 6;
const int solmotor_in2 = 4;

const int sagmotor_in1 = 8;
const int sagmotor_in2 = 7;
const int pwm_sag = 9;

// MPU control/status vars
bool dmpReady = false;
uint8_t mpuIntStatus;
uint8_t devStatus;
uint16_t packetSize;
uint16_t fifoCount;
uint8_t fifoBuffer[64];

// orientation/motion vars

Quaternion q;
VectorFloat gravity;
float ypr[3];


int something;


volatile bool mpuInterrupt = false;
void dmpDataReady() {
    mpuInterrupt = true;
}


void setup() {          //      Serial.begin(9600);

    pinMode(solmotor_in1, OUTPUT);
    pinMode(solmotor_in2, OUTPUT);
    pinMode(sagmotor_in1, OUTPUT);

```

```

pinMode(sagmotor_in2, OUTPUT);
pinMode(pwm_sol, OUTPUT);
pinMode(pwm_sag, OUTPUT);
pinMode(13, OUTPUT);

#if I2CDEV_IMPLEMENTATION ==
I2CDEV_ARDUINO_WIRE
    Wire.begin();
    TWBR = 24; // 400kHz I2C clock (200kHz if CPU is
8MHz)
#elif I2CDEV_IMPLEMENTATION ==
I2CDEV_BUILTIN_FASTWIRE
    Fastwire::setup(400, true);
#endif

while (!Serial);
Serial.println(F("Initializing I2C devices..."));
mpu.initialize();

Serial.println(F("Testing device connections..."));
Serial.println(mpu.testConnection() ? F("MPU6050
connection successful") : F("MPU6050 connection failed"));

Serial.println(F("\nSend any character to begin DMP
programming and demo: "));

Serial.println(F("Initializing DMP..."));
devStatus = mpu.dmpInitialize();

mpu.setXGyroOffset(220);
mpu.setYGyroOffset(76);
mpu.setZGyroOffset(-85);
mpu.setZAccelOffset(1788);

if (devStatus == 0) {

    Serial.println(F("Enabling DMP..."));
    mpu.setDMPEnabled(true);

    Serial.println(F("Enabling interrupt detection (Arduino
external interrupt 0)..."));
    attachInterrupt(0, dmpDataReady, RISING);
    mpuIntStatus = mpu.getIntStatus();

```

```

    Serial.println(F("DMP ready! Waiting for first
interrupt..."));
    dmpReady = true;

    packetSize = mpu.dmpGetFIFOPacketSize();
}

{

    attachInterrupt(AIL, AILhesapla, CHANGE);
    attachInterrupt(ROLL, ROLLhesapla, CHANGE);

}

}

```

```

void loop() {
    digitalWrite(13,HIGH);

```

bekle:

```

//////////*****
*****
    if (NewAIL)
    {

        // Serial.println(AILin);
        ref = map(AILin, 1064, 1948, -35, 35); //MIDLE 1460
        ref = ref / 100;
        // if ((ref>-0.1)&&(ref<0.1)) ref=0;

        NewAIL = false;
    }

    if (NewROLL)
    {
        // Serial.println(ROLLin);
        sagsol = map(ROLLin, 1056, 1920, -100, 100); //MIDLE
1460
        if ((sagsol>-10)&&(sagsol<10)) sagsol=0;

        NewROLL = false;
    }
}

```

```

////////*****
*****

mpuInterrupt = false;
mpuIntStatus = mpu.getIntStatus();

fifoCount = mpu.getFIFOCount();

if ((mpuIntStatus & 0x10) || fifoCount == 1024) {

    mpu.resetFIFO();

} else if (mpuIntStatus & 0x02) {

    while (fifoCount < packetSize) fifoCount =
mpu.getFIFOCount();

    mpu.getFIFOBytes(fifoBuffer, packetSize);

    fifoCount -= packetSize;

    mpu.dmpGetQuaternion(&q, fifoBuffer);
    mpu.dmpGetGravity(&gravity, &q);
    mpu.dmpGetYawPitchRoll(ypr, &q, &gravity);
    // Serial.println(ypr[1] * 180/M_PI);
    something = (ypr[1] * 180 / M_PI);

}

////////*****
*****

if (ypr[1]<-1)
{
    dur();
    Ihata=0; Iout=0;
    Serial.println("robotu dik konuma getirin");
    goto bekle;
}

if (ypr[1]>1)

```

```

{
  dur();
  Ihata=0; Iout=0;
  Serial.println("robotu dik konuma getirin");
  goto bekle;
}

```

```

PID();

```

```

motorayar();

```

```

ekranpid();

```

```

}
//////////*****
*****

```

```

void PID()

```

```

{

```

```

  unsigned long simdi = millis();
  double zamandegisimi = (double)(simdi - sondurum);

```

```

  double hata = -0.07- ypr[1]+ref;

```

```

  Ihata += (hata * zamandegisimi);

```

```

  double Lim = 250;

```

```

  double K=Lim/I;

```

```

  if (Ihata<-K) Ihata=-K;

```

```

  if (Ihata>K) Ihata=K;

```

```

  Iout = I * Ihata;

```

```

  if (Iout < -Lim) Iout = -Lim;

```

```

  if (Iout > Lim) Iout = Lim;

```

```

  double dhata = (hata - sonhata) / zamandegisimi;

```

```

  output = ( P * hata + Iout + D * dhata);

```



```

if (output > 250)  output = 250;
if (output < -250) output = -250;

sonhata = hata;
sondurum = simdi;

}
//////////*****
*****
**
void motorayar()
{
  motor1=output-sagsol;  motor2=output+sagsol;
  if (motor1<-250) {motor1=-250;}
  if (motor1>250){ motor1=250;}

  if (motor2<-250) {motor2=-250;}
  if (motor2>250){ motor2=250;}
  ////*****
  if (motor1 <= 0)
  {

    motor1 = -motor1;

    sol_geri(); analogWrite(pwm_sol, motor1);

  }
  else if (motor1 > 0)
  {

    motor1 =motor1;

    sol_ileri(); analogWrite(pwm_sol, motor1 );
  }
  ////*****

  if (motor2 <= 0)
  {

    motor2 = -motor2;

    sag_geri(); analogWrite(pwm_sag, motor2);

  }
  else if (motor2 > 0)
  {

    motor2 =motor2;

```

```

        sag_ileri(); analogWrite(pwm_sag, motor2 );
    }
    ///*****

}

void motorkontrol()

{

    if (output > 250) output = 250;
    if (output < -250)  output = -250;

    if (output <= 0)
    {
        output2 = 0;
        output1 = -output;

        duz(); analogWrite(pwm_sol, output1);
        analogWrite(pwm_sag, output1);

    }
    if (output > 0)
    {
        output1 = 0;
        output2 = output;

        geri(); analogWrite(pwm_sol, output2 );
        analogWrite(pwm_sag, output2);

    }

}

//////////*****
*****
***

void ekranpid()
{

    Serial.print("  pitch = "); Serial.print(ypr[1]);
    Serial.print("  AILain = "); Serial.print(AILin);
    // Serial.print("  output2= "); Serial.print(output2);
    Serial.print("  ref = "); Serial.print(ref);
    Serial.print("  ROLLin = "); Serial.print(ROLLin);
    Serial.print("  sagsol = "); Serial.println(sagsol);

```

```

Serial.print("  output = "); Serial.print(output);
Serial.print("  motor1 = "); Serial.print(motor1);
Serial.print("  motor2 = "); Serial.print(motor2);
// Serial.println();
}
////////*****
*****
*****

void duz() {
  sag_ileri();
  sol_ileri();
}
void geri() {
  sag_geri();
  sol_geri();
}
void sag_ileri() {
  digitalWrite(sagmotor_in1, LOW);
  digitalWrite(sagmotor_in2, HIGH);
}
void sag_geri() {
  digitalWrite(sagmotor_in1, HIGH);
  digitalWrite(sagmotor_in2, LOW);
}
void sol_ileri() {
  digitalWrite(solmotor_in1, LOW);
  digitalWrite(solmotor_in2, HIGH);
}
void sol_geri() {
  digitalWrite(solmotor_in1, HIGH);
  digitalWrite(solmotor_in2, LOW);
}
void dur() {
  analogWrite(pwm_sol, 0);
  analogWrite(pwm_sag, 0);
}

////////*****
*****

void AILhesapla()
{

  if (digitalRead(AILPIN) == HIGH)
  {

    StartAIL = micros();
  }
}

```

```

else
{

    if (StartAIL && (NewAIL == false))
    {
        AILin = (int)(micros() - StartAIL);
        StartAIL = 0;

        NewAIL = true;
    }
}
}
//////////*****
*****

void ROLLhesapla()
{

    if (digitalRead(ROLLPIN) == HIGH)
    {

        StartROLL = micros();
    }
    else
    {

        if (StartROLL && (NewROLL == false))
        {
            ROLLin = (int)(micros() - StartROLL);
            StartROLL = 0;

            NewROLL = true;
        }
    }
}

```

Proje'nin Genel Çalışma Mantığı

Projemizde Arduino ile kendini dengeleyen robot üzerine çalışılmıştır. Yapmış bulunduğumuz denge robotu uzaktan Kumanda ile kontrol edilebilmektedir.

Robotumuzun kontrol sisteminden bahsedecek olursak dengede durması için gyro sensörden gelen açı analiz edilmektedir ve PID kontrol sistemiyle açıya göre motorlara ivmelenme vererek dengeyi sağlamaktadır.

Gyro Çalışma Prensibi

Gyro, (Jiroskop) yön ölçümü veya ayarlamasında kullanılan, açısal dengenin korunması ilkesiyle çalışan bir alettir. Jiroskopik hareketin temeli fizik kurallarına ve açısal momentumun korunumu ilkesine dayalıdır.

Gyro, yön belirleme amaçlı kullanılmaktadır. Örneğin; Jiroskopa sahip telefonu yan çevirdiğinizde ekranında yan dönmesine olanak sağlamaktadır.

PID Çalışma Prensibi

PID sık kullanılan geri besleme denetleyicisi yöntemidir. PID(proportional,Integral,Derivative) oransal-integral-türevsel denetleyici PID kontrol döngüsü yöntemi , yaygın endüstriyel kontrol sistemlerinde kullanılan genel bir kontrol döngüsü geribildirim mekanizmasıdır. Bir PID denetleyici ölçülü bir süreç içinde değişen ve istenilen ayar noktası ile arasındaki farkı olarak bir "hata" değerini hesaplar. Kontrolör proses kontrol girişini ayarlayarak hatayı en aza indirerek istenilen ayar değerine ulaşmak için çalışır. PID kontrolcüler akış, sıcaklık, seviye, basınç ve diğer proses değişkenlerini düzenlemek, regüle etmek için kullanılır.



Şekil e. Geliştirilmiş Bir İki Tekerlekli Denge Robotu

1.3.2.4 Üç Tekerlekli Robotlar

Üç Tekerlekli Robotlar İki Tipte Olabilirler:

1. Fark ile Dönen (Differentially Steered)

2 güç verilmiş teker ve robotu dengede tutmak için bir serbest teker şeklinde bir sistem ile bulunabilirler.

2. Dönüş Sistemli

Arkadaki iki teker aynı kaynaktan beslenmektedir. Öndeki teker dönüş sağlayabilmek için bir dönüş mekanizması ile kontrol edilmektedir.

Fark ile dönen araçlarda robot yönü iki ayrı kaynaktan beslenen motorların arasındaki hız farkı ile ayarlanabilir. Eğer iki teker de aynı hızda giderse robot düz hareket etmektedir. İki teker de aynı hızda gitmezse dönüş hızına ve yönüne bağlı olarak dönüş merkezi iki tekeri birbirine birleştiren doğru üzerinde herhangi bir noktada olabilir.



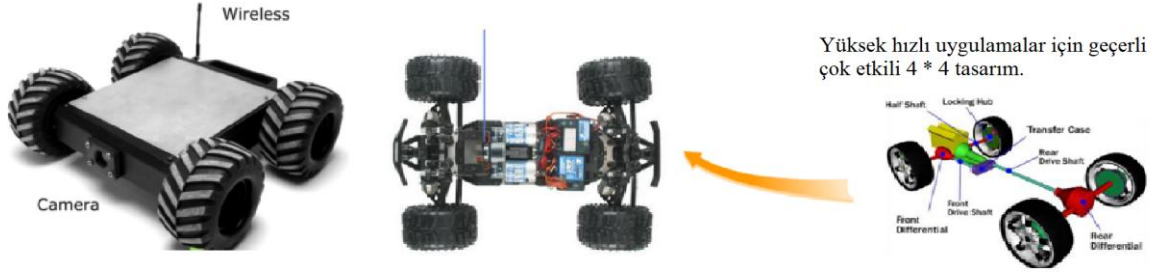
Şekil 1.12 Üç Tekerlekli Robotlar

Bu tarz robotlarda ağırlık merkezi üç tekerin oluşturduğu üçgenin içerisinde olmalıdır. Eğer robotun kenarlarına çok büyük ağırlıkta bir kütle eklenirse robot devrilebilir.

1.3.2.5.Dört Tekerlekli Robotlar

Dört tekerlekli robotlar değişik sürüş tiplerine sahip olabilir.

- 2 beslenmiş 2 serbest dönen teker
- 2'ye 2 beslenmiş tekerler (tank benzeri sürüş)
- Araba benzeri sürüş



Şekil 1.13 Dört Tekerlekli Robotlar

2 Beslenmiş, 2 Serbest Dönen Tekerlek

Bu sürüş biçimine sahip dört tekerlekli robotlar, fark ile dönen 3 tekerlekli robotlar gibidir ama fazladan bir adet serbest tekerleri bulunmaktadır. Ekstra teker sayesinde denge problemleri daha azdır. Bunu sebebi 3 tekerli robotlarda olduğu gibi ağırlık merkezinin bir üçgen içinde kalması gerekliliği yerine bir dikdörtgen içerisinde kalması gerekliliğidir. Bu sayede dört tekerlekli robot üzerinde daha fazla kullanılabilir alan oluşmaktadır. Yine de robotun ağırlık merkezinin dikdörtgenin merkezinde veya merkezine yakın olması tavsiye edilmektedir.

2'ye 2 Beslenmiş Tekerlek (Tank Benzeri Sürüş)

Bu tarz sürüşe sahip robotlarda aynı yöndeki tekerler aynı kaynaktan beslenirler. Bu sayede tank benzeri bir sürüş sistemi ile hareket ederler. Bu sistemde dikkat edilmesi gereken robotun aynı tarafında kalan ve aynı kaynaktan beslenen tekerlerin aynı hızla dönmesinin sağlanmasıdır. Eğer aynı yöndeki tekerler aynı hızda dönmezlerse yavaş olan tarafta kayma yaşanır. Bu da verimsizlik demektir. Bunun dışında eğer 2'lik teker çiftleri aynı hızda ilerleyemezlerse düz hareket de mümkün olmaz.

Araba Benzeri Sürüş

Bu metod sayesinde dört tekerlekli robotlar, arabalar gibi bir dönüş sistemine sahip olurlar. Bu yöntem oldukça zordur ve açık çevrim hesaplama sistemlerinde büyük sorunlar oluştururlar. Bu sistemin diğer sistemler üzerindeki en önemli avantajı, eğer robotunuzu içten yanmalı bir motorla besliyorsanız sadece bir motora ihtiyacınız olmasıdır. Dönüş mekanizması bir servo sistemi ile sağlanabilir. Bu yöntem dışındaki metodlarda iki adet motor ya da çok karmaşık bir dişli kutusu kullanılmalıdır.

1.3.2.6. Çok Tekerlekli Robotlar

Çok tekerlekli robotlar, beslenmiş tekerlek sayıları arttıkça tasarımları karmaşıklaşan robotlardır. Özellikle robotun düz ilerleyebilmesi için bütün beslenmiş tekerleklerin aynı hızda dönmesi gerektiğinden, bu kontrolü sağlamak oldukça zorlaşmaktadır. Farklı taraftaki tekerlerin farklı hızlarda dönmesi robotun düz gitmek yerine yavaş giden tekerin tarafına dönmesine neden olmaktadır. Aynı taraftaki motorlar arasında hız farkı oluşması da en yavaş tekerin kaymasına sebep olmaktadır.



Şekil 1.14 Çok Tekerlekli Robotlar

Bazen robota fazladan bir odometri sahibi serbest teker eklenir. Bu sayede robotun nasıl yürüdüğü daha yüksek doğrulukla ölçülebilir. Beslenmiş tekerlerde odometri olması kayma ve diğer hareketleri göz ardı ettiği için sonuç hatalı olabilir.

En ünlü çok tekerlekli robotlar, **Mars Rover'ları** (Sojourner, Spirit, Opportunity) altı tekerlekli robotlardır. Mars üzerinde yüzey araştırmaları ve dikkat çekici yerlerin keşfedilmesi amacıyla çalışırlar. Bütün tekerlerin yerle kontakt halinde olmasını sağlayan bir süspansiyon sistemleri vardır. Bu sayede kumlu ve eğimli yüzeylerde daha rahat hareket ederler.

1.3.2.7. Paletli Robotlar

Paletli robotlar, tekerlekler yerine sürekli paletlerle hareket eden robotlardır. Paletli robotlar arasında inşaat makineleri, askeri zırhlı araçlar ve insansız yer araçları bulunabilir.

Paletin tekerlekler üzerindeki en büyük avantajı, tekerleklerle oranla yer ile arasında daha büyük bir temas alanı olmasıdır. Bu nedenle üzerinden geçtiği zemine birim alan başına aynı ağırlıktaki bir tekerlekli araca oranla daha az kuvvet uygular. Bu yüzden çamur, kar ve buz gibi yumuşak, düşük sürtünme

katsayısı olan ve düzensiz zeminlerde kullanıma daha uygundur. Dezavantajları ise palet sisteminin, tekerleklerle oranla çok karmaşık bir sistem olması ve kopma ve raydan çıkma gibi problemler yaşanabilmesi ihtimalidir.



Şekil 1.15 Paletli Robotlar

Sürekli ray sistemi, sürekli bir bandın iki ya da daha fazla teker tarafından sürüldüğü bir araç itiş sistemidir. Bu bantlar genellikle askeri uygulamalarda modüler çelik plakalardan, tarım ve inşaat gibi daha hafif uygulamalarda ise çelikle desteklenmiş kauçuktan yapılmaktadırlar. Paletlerin daha geniş yüzey alanları aynı ağırlıktaki bir otomobilin çelik ya da kauçuk tekerlerine oranla, ağırlığı daha iyi dağıtır, bu nedenle paletli araçların yumuşak zeminde batma ihtimalleri çok düşüktür.

Metal plakalardan oluşan paletler, kauçuk tekerlere oranla daha zor yorulur ve hasar direnci yüksektir. Bu agresif paletler yumuşak zeminde rahat ilerleyebilirler ancak, sert zeminlere zarar vermektedirler. Kauçuk pedlerden oluşan özel eklemelerle sadece metal plakalardan oluşan paletlerin bu zeminlere zarar vermesi engellenebilir.

Sürekli ray sistemi 1770'den beri kullanılmaktadır. Bu sistemin başlıca kullanım alanları:

- Buldozerler
- Ekskavatörler
- Tanklar
- Traktörler

Sürekli ray sistemi bunlar dışında paletli sistemlerden fayda görebilecek düşük yüzey basıncında çalışan her araca eklenebilir.

1.3.3. Ayaklı Robotlar

Ayaklı robotlar da tekerlekli robotlar gibi mobil robotlardır, ancak hareket metodları çoğunlukla tekerlekli robotlara göre daha sofistike ve karmaşıktır. İsimlerinden de anlaşılabilceği gibi hareketlerini sağlamak için ayaklarından faydalanırlar ve tekerlekli robotlara göre sorunlu pek çok zeminde hareketlerini sürdürebilirler.

Bu robotların üretim ve kontrolündeki karmaşıklık ve maliyet tekerlekli robotlara göre daha yüksek olsa da bozuk zeminlerdeki avantajları bu robotları vazgeçilmez kılmaktadır. Bu sınıf içerisinde tek ayaklı robotlar, iki ayaklı robotlar, üç ayaklı robotlar, dört ayaklı robotlar, altı ayaklı robotlar ve çok ayaklı robotlar sayılabilir.

3.1. Tek Ayaklı Robotlar

3.2. İki Ayaklı Robotlar

3.3. Üç Ayaklı Robotlar

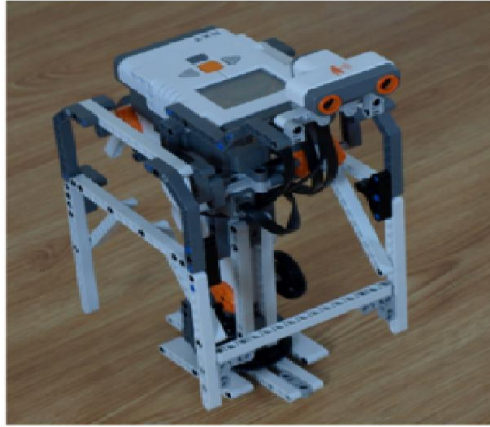
3.4. Dört Ayaklı Robotlar

3.5. Altı Ayaklı Robotlar

3.6. Çok Ayaklı Robotlar

1.3.3.1. Tek Ayaklı Robotlar

1980 ile 1993 arasında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) tek ayaklı robotlar geliştirmek için pek çok araştırma yapılmıştır. MIT labından çok sayıda "MIT zıplayıcı" adında kendini dengeleyebilen ve bir yolu izleyebilen tek ayaklı robotlar çıkmıştır. Zıplayan tek ayaklı robotlar ile ilgili en büyük sıkıntı, ayakta sabit duramamalarıydı. Bu robotlar dengede kalabilmek için sürekli zıplamak zorundaydılar. Araştırmacılar sonunda yerinde zıplayarak dengesini koruyabilen, belirli bir hızda bir yolu takip edebilen ve rahatsız edildiği zaman dengesini koruyabilen bir 3 boyutlu tek ayaklı zıplayıcı robot üretmeyi başardılar. Aynı zamanda Uniroo isimli dengesini korumak için hareketli bir kuyruğa sahip olan bir tek ayaklı robot geliştirmişlerdir.



Leno NXT Hopper ve Toyota'nın robotu "tek ayaklı robot" denebilecek bu modellerde denge ile ilgili daha az problem vardır.

Şekil 1.16 Tek Ayaklı Robot

Monopod düzlemsel bir tek ayaklı robottur. Monopod'un en önemli özelliği diğer robotlarda olduğu gibi bir teleskop bacağı yerine eklemli bir bacağa sahip olmasıdır. Buna ek olarak robotun ayağı diğer tek ayaklı robotlarda olduğu gibi hava yaylarıyla değil düz yayla bitmektedir. Monopod'un geliştirilme amacı bu tarz robotlarda dönel eklemli ayakların etkilerini araştırmaktır. Monopod 2.3m/s hız ile ilerleyebilme yeteneğine sahiptir. Eklemli ayaklar düşük eylemsizlik momenti, düşük yaylanmaz kütle, geniş hareket menzili, kompakt ve sağlam yapı ve kolay üretim gibi mekanik avantajlar sağlamaktadır. Ancak eklemli ayaklar aynı zamanda daha karmaşık kinematik zincirler ve serbestlik dereceleri arasında çiftlenme gibi dezavantajlara sahiptir. Bu çiftlenme iki eklemin yer değiştirmelerinin ayakucu ya da bel bölgesinin ortogonal yer değiştirmesini sağlamamasından anlaşılabilir.

Dönel eklemli bacaklar, teleskop bacaklara göre daha güçlü, daha hafif, daha hızlı ve daha güvenilir olabilecek şekilde tasarlanabilir. En büyük zorluk ayakların kontrolünü çok zor hale getirmeden elastik depo elemanlarını iyi dinamik davranışlarla birleştirmektir. Test sonuçları, robotun asimetrik yapısına ve yüksek doğal frekansına rağmen, düzlemsel bir zıplayıcı robota göre çok yüksek performansa sahip olduğunu gösteriyor.

1.3.3.2.İki Ayaklı Robotlar

İki ayaklı robotlar muhtemelen en çok araştırma geliriye sahip robotlardır. Bunun sebebi robotik araştırmaların başladığı günden beri yatırımcı hayallerinde ilk olarak humanoid robotların bulunmasıdır. Pasif dinamik yürüyüş geliştirmelerinin çoğu bu alanda yaşanmıştır. Çift ayaklı pasif dinamik yürüme konsepti tekerlek telleri ile başlamıştır. Eğer tekerlek yüzeyini parçalara ayırırsak ve bu parçaların ikisi dışında hepsinin yok olduğunu düşünürsek, karşımızda bir ayak çifti bulunduğunu görürüz. Kütleler düzgün şekilde dağıtıldığında, ayakların her biri ters sarkaç gibi hareket eder ve robot adımları arasında döner.

Ayakları kısaltmak (bir adım atmanın diğerini yere değmeden geçebilmesini sağlamak) için dizler ve yaylanma etkisi ile kaybedilen enerjiyi sisteme geri kazandırmak için bilekler eklenerek model biraz daha karmaşıklştırılabilir.



Şekil 1.17 İki Ayaklı Robotlar

Robotik alanında ilkleri başarmak için bu konseptleri kullanan birkaç robot bulunmaktadır. Almanya ve İskoçya’da geliştirilen “RunBot”, Nisan 2006’da saniyede 3,5 ayak uzunluğu yol alarak hız-hacim oranlı rekorunu kırdı. Cornell’in Ranger’ı, tamamıyla pasif olmamasına ve ikiden fazla ayağı olmasına rağmen, yine de iki ayaklı robot olarak sınıflandırılmaktadır. Yandan bakıldığında Ranger’ın iki ayağı varmış gibi görülmekte ancak aslında dört yağa sahiptir. Bu dört ayak ikili çiftler halinde hareket ederek robotun çift ayaklı sınıfına girmesini ve aynı zamanda daha gelişmiş yanal denge sağlamaktadır. 3 Nisan 2008’de Ranger hiç durmadan 9.07 kilometre yürümeyi başarmıştır. Bu derece zamanının resmi olmayan rekoru olarak kaydedilmişti. (Şu an bu rekorun sahibi Boston Dynamics tarafından geliştirilen Big Dog).

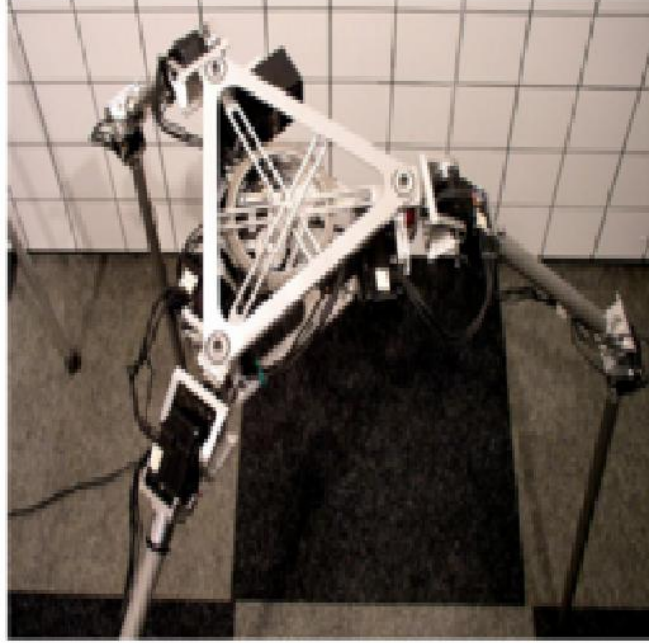
Yıllar içerisinde iki ayaklı robot geliştirmesinde en başarılı olan firmalardan biri Honda oldumuştur. Honda’nın en gelişmiş ASIMO robotu humanoid olma özelliği olan birkaç robottan biridir. ASIMO merdiven çıkabiliyor ve kendi güç kaynağını taşıyabiliyor. Aynı zamanda Honda’nın i-Walk teknolojisini kullanarak yürüyüş metodunu gerçek zamanlı olarak değiştirebiliyor, Bu sayede ASIMO sürekli hız ve yönünü değiştirebiliyor. Robot merdiven çıkabiliyor ve saatte 4 mil hızla koşabiliyor.

1.3.3.3.Üç Ayaklı Robotlar

Üç ayaklı robotlar biyolojik karşılıkları olmadığından fazla karşılaşılan bir robot tipi değildir. Buna rağmen Virginia Tech’in RoMeLa labında araştırmacılar 3 ayaklı “STriDER” isimli bir üç ayaklı “devrimsel” pasif dinamik teknikle yürüyen robot geliştirilmiştir.

STriDER “Self-excited Tripedal Dynamic Experimental Robot” (Kendinden hareketli üç ayaklı dinamik deneysel robot) ifadesinin kısaltması. STriDER tek ayağı havaya kalkana kadar sallanır ve bu ayağı diğer iki ayağın oluşturduğu denge iskeletinin ortasından geçirerek ileri atar. Bu patentlenmek üzere olan “üç ayaklı yürüme” tekniği oldukça az enerji harcanarak gerçekleşmektedir ve minimal kontrol gerektirmektedir. Bu teknik aynı zamanda STriDER’in sadece ayakların atılma sırasını değiştirerek kolayca yön değiştirebilmesini sağlamaktadır.

Strider Robot



Şekil 1.18 Üç Ayaklı Robotlar

1.3.3.4.Dört Ayaklı Robotlar

Dört ayak temelli yürüme sistemleri doğada oldukça sık karşılaşılan yürüyüş teknikleridir. Dört ayaklı robotlar yürümedikleri zaman statik olarak kararlı olmaları avantajına sahiptirler ancak dinamik yürüyüş kontrolüne ihtiyaç duyarlar. Dört ayaklı robotların alternatifli çiftler ve altı ayaklılarda da görülen ters çiftler gibi değişik yürüyüş metotları vardır. Yine de bu teknikler statik olarak stabildirler ve dinamik kontrol gerektirirler.

Boston Dynamics - Big Dog



Şekil 1.19 Dört Ayaklı Robotlar

Boston Dynamics, DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) için “evrendeki en ileri dört ayaklı robot” olduğunu iddia ettikleri “Big Dog” isimli bir robot geliştirmiştir. Big Dog saatte 6.4 km hızla koşabiliyor, 35 derece eğimli yokuşları çıkabiliyor ve 150kg civarı ağırlık kaldırabiliyor. Robotun en etkileyici özelliği ise dinamik yürüyüş metodu. Big Dog kayma ve itilme gibi durumlarda da dengesini koruyabilmektedir.

1.3.3.5. Altı Ayaklı Robotlar

Hexapodlar (altı ayaklı robotlar) altı ayakları üzerinde hareket eden mekanik araçlardır. Robotlar üç ya da daha fazla ayakları üzerinde statik olarak kararlı olabildikleri için, altı ayaklı robotlar yürüyüş şekilleri açısından yüksek esnekliğe sahiptirler. Robotun ayaklarından bazıları çalışmaz hale gelse bile yürümeye devam edebilirler. Bunlara ek olarak kararlı olması için bütün ayaklarını kullanmasına gerek yoktur. Diğer ayaklar yeni ayak pozisyonları bulmak ya da cisimleri manipüle etmek için serbesttirler.



Şekil 1.20 Altı Ayaklı Robotlar

Çoğu hexapod, ilerleme metodu konusunda biyolojik Hexapoda yürüyüş metodundan esinlenmişlerdir. Altı ayaklı robotlar, böcek ilerleme metodları, motor kontrolü ya da nörobiyoloji alanında teorilerin test edilmesi için kullanılabilirler.

Hexapod tasarımları ayak düzenlemelerine göre değişiklik gösterebilir. Carnegie Mellon’un Rise isimli robotu gibi böceklerden ilham alınan altı ayaklı robotlar genellikle yatay olarak simetrikler. JPL tarafından geliştirilen

ATHLETE ise radyal simetrik. Hexapodlarda genellikle her ayak iki ile altı serbestlik derecesine sahiptir. Hexapod ayakları genellikle nokta şeklinde biter ancak bazen tırmanma gibi durumlarda yardımcı olması için yapıştırıcı ekli daha geniş bir yüzeyde kullanılmaktadır.

1.3.3.6.Çok Ayaklı Robotlar

a. Sekiz Ayaklı Robotlar – Octopod Robotlar

Octopod robotlar, sekiz ayakları ile hareket eden robotlardır. Bu çok ayaklı robotlar biyolojik olarak örümceklerden ilham alınarak geliştirilmişlerdir. Resimde görülen robot Ben Axelrod tarafından yönetilen, mekanik mühendislerinden oluşan bir grubun bitirme projesi olarak tasarlanmıştır.

Tasarım oldukça akıllıca yapılmış ve uzay araştırmalarından, arama kurtarma uygulamalarına kadar pek çok alana uygulanabilecek bir yapıya sahiptir. Robotun asıl önemli özelliği ise üç serbestlik derecesine sahip ayaklarıdır. Bu sayede robot değişik yürüyüş şablonlarını kolaylıkla uygulayabilmektedir.

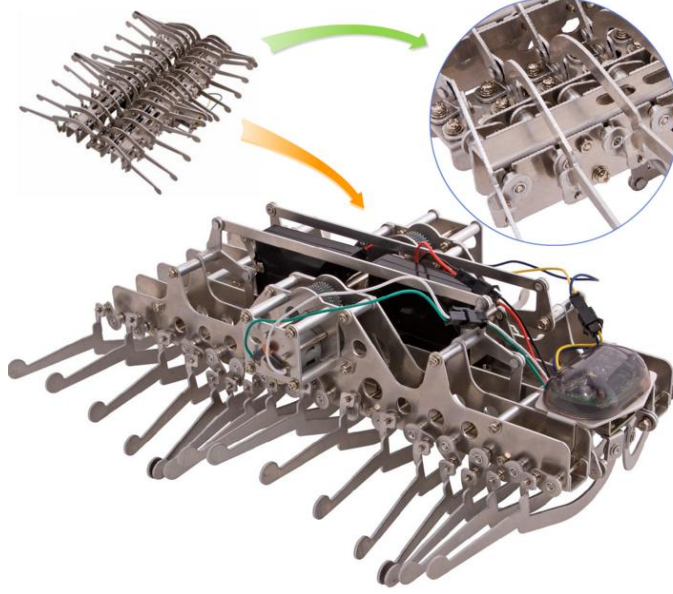
Octopod Robot



Şekil 1.21 Sekiz Ayaklı Robotlar – Octopod Robotlar

b. Kırkayak Robotlar

Bu çok ayaklı robotlar tasarım açısından son derece esnek olabilme gibi bir avantaja sahiptirler. Ancak bu ayakları kontrol etmek için çok fazla motora ihtiyaç duyulması da aynı zamanda dezavantajlarıdır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için daha az sayıda motor kullanarak eklemleri bağlantılar ve kranklar ile hareket ettirmek mümkündür.



Şekil 1.22 Kırkayak Robotlar

1.3.4.Yüzen Robotlar

Yüzen robotlar değişik tiplerde bulunabilirler. Bu robotlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

a. PacX Wave Glider

Aynı zamanda Papa Mau olarak da bilinen bu yüzen robot, San Fransisco ve Queensland, Avustralya arasındaki yaklaşık 16600 kilometrelik mesafeyi 1 yılda yüzerek en uzun mesafe kat eden otonom araç olma unvanını kazanmıştır.

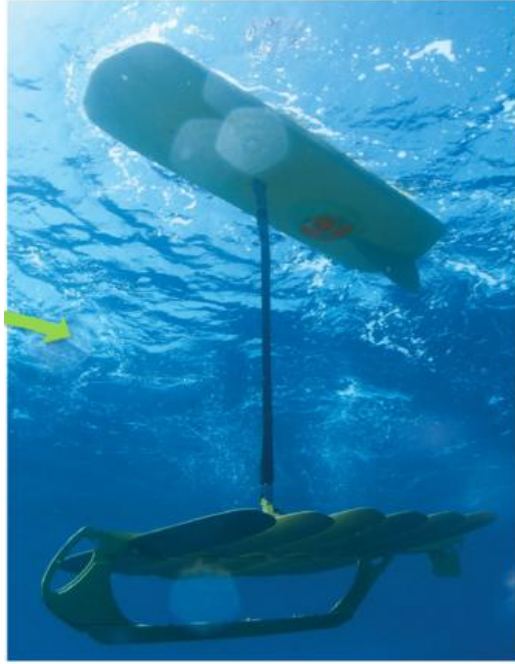
Robotu geliştiren Amerika merkezli Liquid Robotics, Papa Mau'yu kullanarak mesafe ve süre açısından emsalsiz olarak değerlendirilen yüksek kaliteli okyanus verileri topladı. Bu sayede bilim insanlarının Pasifik okyanusunun ve ekosisteminin durumu hakkında değişik araştırmalar yapabilme şansları oldu.

Seyahati sırasında yüzen robot, şiddetli fırtınalara maruz kaldı, köpekbalıklarından kurtulmaya çalıştı ve Büyük Bariyer Kayalığı'nı aşarak geçen hafta son durağı olan Queensland'e ulaştı.

PacX iki önemli bölümden oluşmakta

- Robotun kararlılığını sağlamaya yarayan sörf tahtasına benzeyen tepe kısmı,
- Bir omurga ve pek çok yüzgeçten oluşan taban kısmı
PacX dalga enerjisini, ileri yönde itmeye çevirmek amacıyla tasarlandığı için robotun yakıt tüketimi bulunmamaktadır.

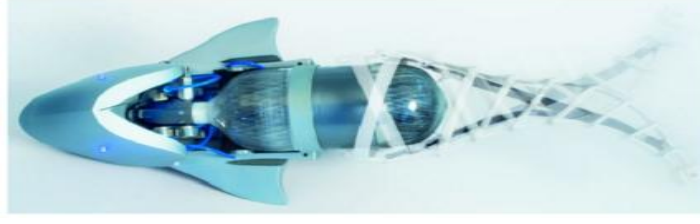
Liquid Robotics yüzen robotlar konusundaki çalışmalarını hala denizde olan üç robotu ile devam ettirmektedir. Robotlardan biri Avustralya yolundayken, diğer ikisi de Japonya yolunda ilerlemektedir.



Şekil 1.23 PacX Wave Glider

b. Festo Fish

Festo fish yüzen robotlar arasında en dikkat çekici olan robotlardan biridir. Radyo frekanslarıyla kontrol edilen robot, Festo standında tanklar arasında yüzmektedir, gelip geçenlere köpükler çıkartmaktadır ve Festo'nun Sıvı Kaslar (Fluidic Muscles) sisteminin tanıtımını yapmaktadır. Robot; denizaltı gözetimi, izlemesi ve robotik görevler konusunda oldukça yeterlidir. Festo Fish tasarımı Biyomimetik alanındaki araştırmaları da olumlu etkileyecektir ve denizaltı araç tasarımlarında büyük ilerlemelere yol açacaktır.



Şekil 1.24 Festo Fish

c.Yüzten Swumanoid Robot

Japon araştırmacılar atletlerin daha hızlı yüzebilmelerine ya da en azından daha hafif yüzme giysileri giyebilmelerine olanak sağlayabilecek insan benzeri bir yüzten robot geliştirmekteler. Robotun en önemli yararlarından biri ise araştırmacılara yüzme sırasında yüzücünün eli ile yaratılan itiş kuvveti hakkında bir fikir sunacak olmasıdır. Bu itiş kuvvetini ölçmek gerçek bir yüzücü üzerinde neredeyse imkansız olduğundan robotun sunduğu oldukça faydalı olarak değerlendirilebilir.

Robotun modellenmesinde rekabetçi bir yüzücüden örnek alınmıştır. Robot yüzücünün yarım ölçeğinde üretilmiştir. Su geçirmez motorlar sayesinde yüzüş hareketleri sağlanmaktadır. Swumanoid' şu an serbest yüzmede 100m rekor sahibi Brezilyalı Cesar Cielo'nun üçte biri hızında yüzebilmektedir. Araştırma ekibinden Nakashima robotun spor araştırmaları için faydalı olabileceğini, aynı zamanda bir cankurtaran robotu olarak kullanılabileceğini söylemektedir.

1.3.5.Uçan Robotlar

Uçan robotlar hareketlerini kanat, pervane ya da balonları ile havada asılı kalarak ve manevra yaparak sağlayan robotlardır. Bu robotlara örnek olarak uçak benzeri kanatlı robotlar, kuş/böcek benzeri kanatlı robotlar, pervaneli multikopterler ve balonlu robotlar sayılabilir.

a. Uçan Robot Festo SMARTBIRD 31003

Festo, robotik koleksiyonuna yepyeni ve yine oldukça şık bir parça eklemiştir. Sadece 450g ağırlığında ve 1.96m kanat genişliğine sahip robotik martı SmartBird koleksiyonun son üyesidir. SmartBird martılardan ilham alınarak tasarlanmış, dışarıdan bir yardım almadan havalanabilen, uçabilen ve konabilen bir uçan robottur.

Festo'dan yapılan açıklamaya göre, SmartBird'ün yaratımında kuşların uçuş şifreleri çözülmüştür. Robotun kanatları sadece yukarı ve aşağı doğru çırpılmıyor, aynı zamanda bir kaldırıcı mekanizması ile kuşlarda olduğu gibi gövde ve kanat ucu arasındaki sapma da kontrol edilebiliyor.



Şekil 1.25 Uçan Robot Festo SMARTBIRD 31003

Yön kontrolleri robotun kafa ve gövdesinin ters yönde hareket etmesi ile sağlanmaktadır. Bu hareketin senkronu iki elektrik motor ile sağlanmaktadır. Bu sayede aerodinamik olarak eğilmek mümkün olmakta ve eşzamanlı ağırlık değişimi sağlanmaktadır. Bu mekanizma sayesinde SmartBird oldukça çevik ve yüksek manevra kabiliyetine sahiptir.

Kuşlarda olduğu gibi, robotun kuyruğu sadece görünüş için bulunmamaktadır. Kuyruk kısmı kaldırma konusunda yardımcı aynı zamanda yunuslama ve sapma kontrollerini de sağlamaktadır. Robotik kuşun gövdesinde batarya, motor, iletim elemanları ve elektronik ve kontrol elemanları bulunmaktadır. Kanat pozisyonu çift yönlü Zigbee protokollü haberleşme ile izlenebilmekte ve gerçek zamanlı olarak kontrol edilebilmektedir.

b. Küre Kafesli Uçan Quadcopter

Illinois Teknoloji Enstitüsü Robotik Labında geliştirilen HyTAQ (Hybrid Terrestrial and Aerial Quadrotor) alışılmamış bir tasarıma sahip hem havada hem de yerde rahatça ilerleyebilen bir mobil robottur. Uçuş quadcopter konfigürasyonu sayesinde sağlanmaktadır. Dört eyleyici ile de gerekli itiş sağlanmaktadır. Quadcopter etrafına bir kafes geçirilerek aynı uçuş konfigürasyonu ve kontrol sistemi ile yerde de hareket etmesi sağlanmıştır. Böylece farklı eyleyiciler eklenerek sistemin karmaşıklığının

ve kütlesinin artmaması sağlanmıştır.



Şekil 1.26 Küre Kafesli Uçan Quadcopter

Robotun yerdeki hareketi sırasında tek yapması gereken dönme direncine karşı gelmektir. Havadaki haliyle kıyaslandığında yerdeki hareketinin daha az enerji sarf etmektedir. Bu sayede quadrotorların en çok muzdarip olduğu problem de çözülmüş olmaktadır. Deneysel sonuçlara göre HyTAQ, sadece havada çalışan sistemlere göre 4 kat daha uzun mesafe kat edebiliyor ve 6 kat daha uzun çalışma süresi vardır. HyTAQ aynı zamanda engelden kaçınma gibi önemli bir problemi de ortadan kaldırılmaktadır. Robot bir engelle karşılaştığında basitçe üstünden uçup gitmektedir.

HyTAQ kafesi polikarbonat ve karbon fiber ile imal edilmiştir. Bu sayede hem esnek hem de çarpışmaya dayanıklı hale gelmiştir. Geliştirme ekibi robotun yer performansını düz kapalı, kum ve çimen gibi farklı zeminlerde test etmiştir. Robotun yerde hareket edebilmesi aynı zamanda uçamayacak kadar rüzgarlı havalarda yerde ilerlemesi imkanı da sağlanmıştır.

1.3.6. Sürü Robotları

Sürü robotları, yapı olarak birleşik ve tek olmak yerine çok sayıda benzer ve basit fonksiyonellikte robotun ortak çalışmaları ile işleyen robotlardır. Modüler robotlarla benzerlikler gösterebilirler de sürü robotlarının elemanları çok daha fazla sayıda ve fonksiyonel açıdan çok daha basittirler.

Sürü Robotik, çok sayıda basit robotlardan oluşan çoklu robot sistemlerinin koordinasyonu için uygulanmaya çalışan yeni bir bakış açısidir. Bu sistemlerde istenilen kolektif bir

davranış, robotların birbirleri ve çevreleri arasındaki etkileşimle elde edilmektedir. Bu bakış açısı yapay sürü zekası araştırmaları ile zemin bulmuş ve robotik alanında da kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 1.27 Sürü Robotları

Sürü robotik araştırması, robotların fiziksel gövde tasarımlarının ve davranışlarının kontrol edilmesi temellidir. Sürü robotlar ile ilgili araştırmalar doğada gözlemlenen böcek sürülerinden ilham almış olsa da bu sürülerle kısıtlı değildir. Sürü üyelerine bireysel olarak koyulan basit kurallar çok karmaşık sürü davranışlarının ortaya çıkmasını sağlayabilir. Bu sistemde önemli bir bileşen sürü üyeleri arasındaki haberleşmeyi oluşturarak düzgün bir geri besleme sistemi kurmaktır.

Genel dağınık robot sistemlerinin aksine, sürü robot sistemlerinde çok sayıda robot bulunur ve ölçeklendirme ön plandadır. Örneğin sadece lokal haberleşme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu haberleşme sistemleri radyo frekansı ya da kızılötesi gibi kablosuz olabilir.

Sürü davranışını incelemek için farklı yöntemler bulunsa da video yöntemleri önemli bir araçtır. Geçtiğimiz günlerde Bristol robotik laboratuvarı tarafından sürü araştırmaları için ultrasonik bir pozisyon izleme sistemi geliştirildi. Sadece sürü elemanlarının belirli özelliklerinin bilinmesi ile sürünün genel davranışını güvenilir biçimde tahmin edebilecek metotların geliştirilmesi içinse daha ileri seviye araştırmaların yapılması gerekiyor.

“Sürü” Nedir?

Robotların pek çok kullanışlı uygulaması aslında bu “sürü” mantığına oldukça uyumludur. Bu tarz görevler robot grupları tarafından daha verimli şekilde tamamlanabilir. Ancak sürü robotları programlamak ve koordine bir şekilde çalışmalarını sağlamak oldukça zordur.

Robot Sürülerinin Uygulama Alanları

Sürü robotların kullanılabileceği pek çok uygulama alanı bulunmaktadır. Örneğin çok sayıda süpürge robotu daha önce temizlenen alan bilgilerini birbirleri ile paylaşmak için haritalar kullanabilirler. Bir Mars Rover sürüsü birbirleri arasındaki haberleşmeyi sürdürerek çevreye dağılıp önemli yerleri keşfedebilirler. Afet kurtarma robotları üç farklı şekilde karşımıza çıkabilir. Binlerce hamamböceği boyutunda robot enkaz alanına dalarak hayatta kalanların yerlerini belirleyebilirler. Birkaç düzine fare boyutunda robot enkaz alanında enkaz kaldırma sürecinin nasıl yapılacağına dair bilgi toplayabilirler ve bu bilgileri enkazı kaldıracak alan koca cüsseli robotlarla paylaşıp enkaz kaldırılırken kimsenin zarar görmemesini sağlayabilirler.

Bu örneklerin hepsinde, sürünün elemanları kendi başlarına çalışmakta ve sadece komşu elemanlarla haberleşme içerisinde bulunmaktadır. Verilen örneklerde robotları uzaktaki merkezi bir noktadan kontrol etmek ya çok pahalıdır, ya çok uzaktır ya da imkansızdır. Ancak dağınık bir kontrol sistemi ile robotlar yakınlarındaki robotlarla haberleşerek ve beraber çalışarak istenen görevi yerine getirebilirler.

1.3.7. Modüler Robotlar

Modüler robotlar da sürü robotlar gibi robotik sistemi değişik robotlara dağıtmış robot sistemleridir. Bu robotların sürü robotlarından farkı ise, modüllerin daha gelişmiş ve nispeten daha az sayıda olmasıdır. Modüler robotların bir diğer özellikleri modüller arası birleşimlerle oluşturdukları konfigürasyonların değişik fonksiyonellikte farklı robotlar oluşturabilmesidir.

1.3.7.1 Yeniden Yapılandırılabilir Robotlar

Modüler yeniden yapılandırılabilir robotik sistemler ya da yeniden yapılandırılabilir modüler robotlar, değişken şekilli otonom kinematik makinelerdir. Tek şekilli robotlardaki konvansiyonel sensör, eyleyici ve kontrol sistemlerine ek olarak, yeniden yapılandırılabilir robotlar yeni durumlara adapte olabilmek, yeni görevleri yerine getirebilmek ya da tamirat amacıyla parçalarının bağlantılarını düzenleyerek bilinçli olarak şekillerini değiştirebilirler.

Örnek olarak bu tarz bileşenlerden oluşan bir robot toprak kurdu benzeri bir şekil alarak dar bir borudan geçebilir, düzensiz zeminde hareket edebilmek için örümcek benzeri bir şekil alabilir, daha sonra üçüncü bir tekerlek ya da

top benzeri şekil alarak düz zeminde hızlıca hareket edebilir. Bütün bunların dışında modüler robotlar duvarlar, barınaklar ya da binalar gibi sabit şekiller alabilirler.



Şekil 1.28 Modüler Robotlar

“Yeniden yapılanma” ya da “yeniden yapılandırılabilir” özelliklerinin anlamı mekanizma ya da aracın kendi kontrol sistemini manipüle ederek yapısal şeklini değiştirebilmesidir. “Modüler” tanımı ise sistem içerisindeki parçaların gruba eklenebilmesi ya da çıkarılabilmesi anlamında kullanılmaktadır.

Yapı ve Kontrol

Modüler robotlar genellikle fazla değişiklik göstermeyen çok sayıda yapı bloğundan oluşurlar. Bu blokların mekanik güçlerin, elektriksel gücün ve haberleşmenin transfer edilebilmesini sağlayan ortak birleşme arayüzleri bulunur. Modüler bloklar genellikle bazı öncelikli yapısal hareketli ünitelerden ve kısıkaç, ayak ve kamera gibi özelleşmiş ünitelerden oluşur.

Mimarilerin Sınıflandırılması

- Örgü Mimarisine sahip sistemlerde üniteler birbirlerine sanal bir örgüsel grid üzerindeki noktalar şeklinde bağlanırlar. Bu bağlantı düzeni kristal içindeki atomlara benzetilebilir. Örgü mimarisi daha basit mekanik tasarımlara ve basit hesapsal temsillere fırsat tanır. Bu sistemlerde yeniden yapılanma için programlama daha kolaydır ve ölçeklendirmeye uygundur.
- Zincir Mimarisinde örgü mimarisindeki gibi sanal bir grid sistemi yoktur. Üniteler çalışma alanlarındaki her noktaya erişebilme yeteneğine sahiptirler bu nedenle daha çok yönlü oldukları söylenebilir. Ancak bu özgürlük nedeniyle zincir

mimarisinde yeniden yapılandırılma problemleri oldukça karmaşıktır ve yeniden yapılanma sürecinin tek bir adımının tamamlanması çok uzun sürebilir.

- Hibrit Mimari kendisinden önceki iki mimarininde avantajlarından faydalanır. Kontrol ve mekanizma örgü mimarisine benzer oluşturulmuştur, ancak ünitelerin çalışma alanındaki her bölgeye erişimi vardır. Modüler robotik sistemler aynı zamanda modül tasarımlarına göre de sınıflandırılabilir.
 - Homojen Modüler Robotik Sistemlerin modülleri aynı tasarıma sahiptir. Bu sistemlerin avantajları boyutsal ölçeklendirmeye oldukça uygun olmalarıdır. Çoğunlukla belirtilen dezavantajları ise homojen yapılarının fonksiyonellikleri üzerindeki limitleyici etkisidir. Bu sistemler belirli bir görevi tamamlamak için genellikle heterojen sistemlere oranla daha fazla modüle ihtiyaç duyarlar.
 - Heterojen Modüler Robotik Sistemlerin farklı tasarıma ve farklı fonksiyonlara sahip modülleri bulunmaktadır. Bu sistemlerin avantajları, kompakt yapılarıdır. Dezavantajları ise tasarım, üretim ve simülasyon metotlarındaki karmaşıklığıdır.
- Motivasyon ve İlham
- Yeniden yapılandırılabilir modüler robotik sistemler tasarlamak için iki temel motivasyon bulunmaktadır. Bunlar fonksiyonel ve ekonomik avantajlardır.
- Fonksiyonel Avantaj: Yeniden yapılandırılabilir robotik sistemler potansiyel olarak konvansiyonel sistemlere göre daha dayanıklı ve adaptasyona daha uyumludur. Yeniden yapılandırılabilme yetenekleri sayesinde robotlar değişik görevlere daha uyumlu hale gelebilirler. Örneğin ayaklı bir robottan yılanı bir robota dönüşebilen sistemler gibi. Robot parçaları birbirleri yerine kullanılabileceği için, sistem hatalı parçaları kendi kendilerine değiştirebilirler. Bu sayede kendi kendini onaran robotlar mümkün olabilir.
 - Ekonomik Avantaj: Yeniden yapılandırılabilir robotik sistemler potansiyel olarak toplam robot maliyetini düşürürler. Bunun sebebi bu sistemlerin kompleks robotları üretmek için basit ve toplu üretilebilen modüllerden oluşmasıdır.

Bahsedilen avantajların ikisi de şimdiye dek tamamıyla gerçekleştirilmemiştir. Bir süre daha herhangi bir modüler robotik sistem belirli bir görevi yerine getirirken, o görev için özellikle tasarlanmış robotlardan daha iyi performans gösteremeyecektir. Ancak modüler robotların asıl güçleri yapılması için birden fazla robotun görev alması gereken çoklu görevlerde ortaya çıkmaktadır.

1.3.8. Mikro Robotlar

Mikro robotlar tanım olarak, hem mikro hassasiyette işlem yapabilen hem de mikrometre boyutlarında olan robotları belirtmek amacıyla kullanılır. Bu açıdan çok büyük boyutlarda olan ama çevresine mikrometre ölçeğinde manipülasyonlarda bulunabilecek muhtemelen büyük sabit robotlar da boyut olarak mikro metre ölçeğinde bulunan robotlar da mikro robot olarak tanımlanabilirler.

Mikro robotik, minyatür robotlarla ilgili araştırma alanıdır. Daha net bir tanım olarak, karakteristik boyutları 1mm'nin altında olan mobil robotlar verilebilir. Bu terim aynı zamanda mikrometre seviyesinde bileşikler kontrol edebilen robotlar için de kullanılabilir.



Şekil 1.29 Mikro Robotlar

Her ne kadar mikro robot tanımı aslında küçük robotları tanımlamak için ortaya atılmış olsa da tanımları kesinleştirmek daha da faydalı olacaktır. Bu nedenle mikro robotları tanımlarken ölçü birimlerini kullanmak daha doğru olacaktır.

Küçük robotlarla ilgili ilk konsept çalışması 1970lerde o zamanlar gizli olarak Amerikan istihbarat kurumları tarafından yapılmıştır. O zamanlar uygulama alanları, mahkum kaçırma ve elektronik casusluk olarak belirlenmiştir.

Çok küçük robotlar üretme fikri, mikro elektromekanik sistemlerdeki güncel gelişmelerden faydalanan küçük boyutları nedeniyle çok sayıda ucuz robot üreterek insanlar için çok küçük ya da çok tehlikeli yerleri inceleyebilme amacıyla ortaya çıkmıştır. Düşünceye göre mikro robotlar enkazlarda hayatta kalanların tespit edilmesinde, sindirim kanalında yol alma gibi uygulamalarda kullanılabilecekti.

Mikro robotların eksik kaldığı nokta ise güç ve hesap kapasiteleri konularıydı. Bu eksiklikleri ise sürüler halinde çalışarak kapatabileceklerdi.

Mikro robotların ortaya çıkışlarını 20. yüzyılın sonunda ortaya çıkan mikrodenetleyicilere ve silikon üstü minyatür mekanik sistemlere borçlulardır.

Mikro robot geliştirmekteki en büyük zorluk çok kısıtlı güç kaynakları ile hareket etmektir. Ancak mikro robotlar küçük ve hafif bataryalar kullanabilir ya da çevredeki titreşimlerden ya da ışık kaynaklarından kendilerine enerji depolayabilirler. Mikro robotlar aynı zamanda güç kaynağı olarak çevredeki akışkanlardan kimyasal güç çekip robotik aracı çalıştırmak için kamçılı Serratia gibi biyolojik motorlar da kullanabiliyorlar.

Günümüzde kablosuz haberleşmedeki ilerlemelerle, mikro robotların haberleşme kapasiteleri oldukça yüksektir. Bu sayede diğer robotlarda koordine çalışarak karmaşık görevleri tamamlamaları mümkündür.

1.3.9. Nano Robotlar

Nano robot tanımı ile belirtilmek istenen hem nanometre düzeyinde hassasiyetle işlem yapabilen çok hassas robotlar hem de boyut olarak nanometre düzeyinde ifade edilen çok küçük robotlardır.

Nanobotlar, Nanoidler, Nanitler, Nano Makineler, Nanomitler

Nano robotik, nanometre boyutlarında robotlar üretmek amacıyla çalışan yeni gelişen bir robotik araştırma alanıdır. Daha kesin bir ifadeyle nano robotik, 0.1-10 mikrometre ölçeğindeki aletlerle üretilebilen ve nano ölçekte ya da moleküler boyutta bileşiklerden oluşan nano robotlar tasarlama ve üretme amacıyla çalışan nanoteknoloji mühendislik disiplini. Aşağıda sıralanan değişik isimler

- Nanobotlar
- Nanoidler
- Nanitler
- Nano Makineler
- Nanomitler

şu an hala geliştirilmekte olan bu araçları tanımlamak için



Şekil 1.30 Nano Robotlar

Nano makineler büyük ölçüde hala araştırma geliştirme safhasındadır. Ancak bazı ilkel moleküler makineler test edilmiştir. Örnek olarak 1.5 nanometre boyutunda bir anahtar olan ve bir kimyasal örnek içerisindeki belirli molekülleri sayabilen bir sensör verilebilir. Nano teknolojinin ilk kullanışlı örnekleri tıp alanında kanser hücrelerini yok etmek için kullanılabilir. Bir diğer potansiyel uygulama, çevredeki zehirli kimyasalların tanımlanması ve oranlarının tespiti olabilir.

Bir başka tanım: Nano robotlar, nano ölçekteki cisimlerle yüksek kesinlikte etkileşebilen ve nano ölçekteki bir çözünürlükte manipüle edebilen robotlardır. Bu tanım daha çok mikroskopi ya da tarama problemleri araçları için kullanılır.

1.3.9.1. Nano Robotik Teorisi

Nano robotlar mikroskobik boyutlarda olacağından, bu robotların mikroskobik görevleri yerine getirebilmeleri için çok büyük sayılarda beraber çalışmaları zorunlu olabilir. Bu nano robot sürüleri Star Trek ve The Outer Limits gibi bir çok bilim kurgu hikayesinde kendine yer bulmuştur.

Bazı nano robotik destekçileri “gri çamur” korkutucu hikayelerine tepki olarak, kendilerini kopyalama yetenekleri olan nano robotların anlamlı bir nano teknoloji üreteceklerinin kesin olmadığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda eğer böyle bir kendini kopyalama yeteneğinin, geliştirilmesi durumunda zararlı olmayacağı da savunulmaktadır.

Nano robotik ile ilgili tasarımla ilgili sensör, güç, haberleşme, yön bulma, manipülasyon, ilerleme ve dahili hesaplama gibi spesifik tasarım problemlerinin dahil olduğu en detaylı teorik tartışma, Robert Freitas tarafından nanoilaç tıbbi bağlamında sunulmuştur. Bu tartışmalardan bir kısmı hala genelliğe ulaşamayan ve detaylı mühendisliğe yaklaşmayan bir durumda kalmıştır.

1.3.9.2. Biyoçip

Nano elektronik, fotolitografi ve yeni biyomalzemelerin birlikte kullanılması, genel tıbbi uygulamalarda kullanılabilecek nano robotlar üretilmesi için potansiyel bir yaklaşım sunmaktadır. Bu uygulamalar cerrahi enstrümantasyon, teşhis ve ilaç kullanımı alanlarında olabilecektir. Bu nano teknolojik ölçekte üretim metodu şu an elektronik endüstrisinde halihazırda kullanılmaktadır. Yani pratik nano robotlar nano elektronik araçlar olarak birleştirilmelidir. Bu sayede tele operasyon ve tıbbi enstrümantasyon için ileri yetenekler mümkün olacaktır.

1.3.9.3. Nubotlar

Nubot, nükleik asit robotun kısaltmasıdır. Nubotlar nano ölçekteki organik moleküler makinelerdir. DNA yapısı 2 ya da 3 boyutta nano mekanik araçlar yapmayı mümkün kılmaktadır. DNA tabanlı makineler küçük moleküller, proteinler ya da DNA tabanlı başka moleküller kullanılarak aktifleştirilebilir. DNA malzemelerine dayanan biyolojik devre kapıları, hedeflenen sağlık problemlerine yönelik ilaç dağıtımını sağlamak için moleküler makineler olarak üretilmiştir.

Pozisyonel Nano Montaj

2000 yılında Robert Freitas ve Ralph Merkle tarafından kurulan “Nanofabrika İşbirliği” (Nanofactory Collaboration) 4 farklı ülke ve 10 ayrı organizasyondan 23 araştırmacısı ile pratik bir araştırma ajandası oluşturmaya çalışmaktadır. Ajandanın amacı pozisyonel olarak kontrol edilen elmas mekano sentezi ve diamondoid tıbbi nano robotlar üretebilecek bir diamondoid nanofabrikası geliştirmektir.

Bakteri Tabanlı

Bu yaklaşım Escherichia coli bakterileri gibi mikro organizmalar kullanılmasını önermektedir. Model itiş amacı için bir kamçılı kullanılmaktadır. Bu tarz biyolojiyle tümleşik araçların hareket kontrolünde elektromanyetik alanlar kullanılmaktadır.

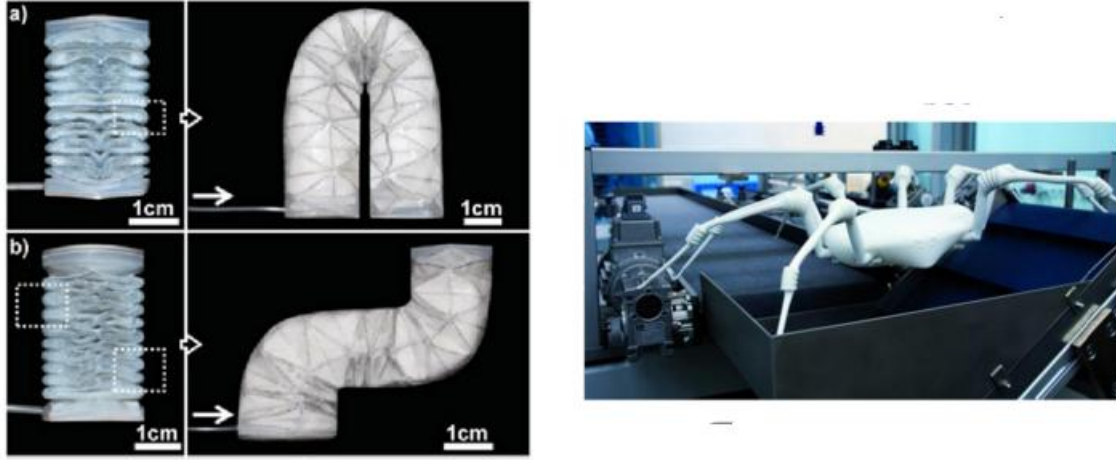
Açık Teknoloji

Nano biyoteknoloji gelişiminin açık teknoloji kullanılarak yapılmasına yönelik bir önerge Birleşmiş Milletler Genel Kurulu’na sunulmuştur. Gönderilen belgede, açık kaynak fikrinin bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin hızlanmasındaki rolüne atıfta bulunularak, nano robot geliştirilmesinde de buna benzer bir yaklaşım gösterilmesinin topluma olacak faydaları anlatılmaktadır. Belgeye göre Nano biyoteknoloji kullanımı insanlığın ortak mirası olarak tanımlanmalı ve barış amacı güden etik pratiklere dayalı bir açık teknoloji olarak geliştirilmelidir.

1.3.10. Yumuşak Elastik Robotlar

Yumuşak elastik robotlar, robotik alanında yeni yeni kendilerine yer bulan robotlardır. Bu robotların esin kaynakları genellikle kalamar ve toprak solucanı gibi hayvanlardır.

Harvard araştırmacıları, kalamar ve kurt gibi hayvanlardan esinlenmiş bir yumuşak robot yaratmak için organik kimya, yumuşak malzeme bilimi ve robotiği harmanlamıştır.



şekil 1.31 Yumuşak Elastik Robotlar

Yumuşak robotun sert bir i iskeleti ve sensörü bulunmamaktadır. Robot, valf ve tüplerden oluşan bir ağ kullanarak dört “pneu-nets” adı verilen elastomer ayak bölümüne giren ve çıkan havayı kontrol ederek srnmeyi başarmaktadır.

Pnömatik eyleyicilerle çalışan robot, engeller arasında ilerleyebilmek için yürüme ve sürünme gibi değişik ilerleme metotlarından birini kullanmaktadır. Robot aynı zamanda dar aralıklardan geçebilmek için hacmini kltebilmektedir. Daha nceki bir deneyde, Whitesides ve çalışma arkadaşları tarafından hareket etmek için balon gibi şişebilen elastik polimerler kullanılarak denizyıldızı şekilli bir kısıkaç geliştirilmiştir. Bu yumuşak kısıkaç, yumurtaları kaldırmak gibi hassas işleri halletmekte kullanılmaktadır.

Yumuşak elastik robotlar henüz büyük yüklerle alışamıyor ya da elektrik iletemiyor ancak araştırmacılar göre eninde sonunda doğru malzemeler kullanıldığında büyük gelişmeler kaydedilecektir.

BÖLÜM 2

İKİ TEKERLEKLİ DENGEDİ DURABİLEN ROBOTLARDA KONTROL METOTLARI

İki tekerlekli robotların kontrolünün ilk ve temel amacı robotun dengede kalmasını sağlamak ve devrilmesini önlemektir. Diğer bir amacı belli bir hız ve yörünge takip etmektir. IMU bir Kalman filtresi normalde zamanla ileri hızı ve doğrudan açısal rotasyonu yanı sıra eğim açısını verir. Eğim açısı doğruluğu öncelikle jiroskoplara bağlıdır. Sensör etkisi, gürültü ve ivme arasında bir denge vardır. Ayrıca eğim olmadan bir ivme tahmin etmek mümkündür, ara açısal ivme olarak gerçekleştirilebilmektedir.

2.1. Doğrusallaştırma

İki tekerlekli robotlar, genellikle bazı doğrusal değişkenler tarafından kontrol edilir. Jacobi lineer sadeliği kullanılır. İki tekerlekli robot sistemi küçük eğim açıları için oldukça doğrusaldır.

2.1.1. Jacobi Lineer Sadeliği

Lineer denklem sistemlerinin çözümünde denklem sistemi oldukça büyük ise matris işlemleri kullanılarak yok etme metodlarının kullanılması yapılan temel aritmetik işlemlerim çokluğundan dolayı tercih edilmemektedirler. Bu durumda iterasyon yöntemleri tercih edilmektedir. Yöntemde çözümlere bir başlangıç tahmininde bulunulur ve denklemlerde yerine konularak yeni tahmin değerleri

bulunur. İşlemler bir birini takip eden yaklaşık değerler arasında mutlak fark çok küçük oluncaya kadar devam etmektedir.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

$$a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = b_n$$

Bu yöntem aynı zamanda eş zamanlı olarak yer değiştirme yöntemi olarak bilinmektedir. Basit ve anlaşılabilir olması açısından yukarıdaki denklemde $n = 3$ alalım, yani üç bilinmeyenli üç denklem sistemini ele alalım. Bu denklem sistemi

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = b_3$$

Burada, a_{11} , a_{22} ve a_{33} katsayıları ilgili denklemlerin en büyük katsayıları olduğunu varsayıyoruz, bu varsayım yöntemin çözülebilirlik yada yakınsama şartıdır. Yani;

$$|a_{11}| > |a_{12}| + |a_{13}|$$

$$|a_{22}| > |a_{21}| + |a_{23}|$$

$$|a_{33}| > |a_{31}| + |a_{32}|$$

Jacobi iterasyon yöntemi, yukarıdaki denklemde verilen koşullar yerine getirildiği durumunda geçerlidir. Bu denklem sistemini

$$x_1^{(n+1)} = \frac{1}{a_{11}} \left(b_1 - a_{12}x_2^{(n)} - a_{13}x_3^{(n)} \right)$$

$$x_2^{(n+1)} = \frac{1}{a_{22}} \left(b_2 - a_{21}x_1^{(n)} - a_{23}x_3^{(n)} \right)$$

$$x_3^{(n+1)} = \frac{1}{a_{33}} \left(b_3 - a_{31}x_1^{(n)} - a_{32}x_2^{(n)} \right)$$

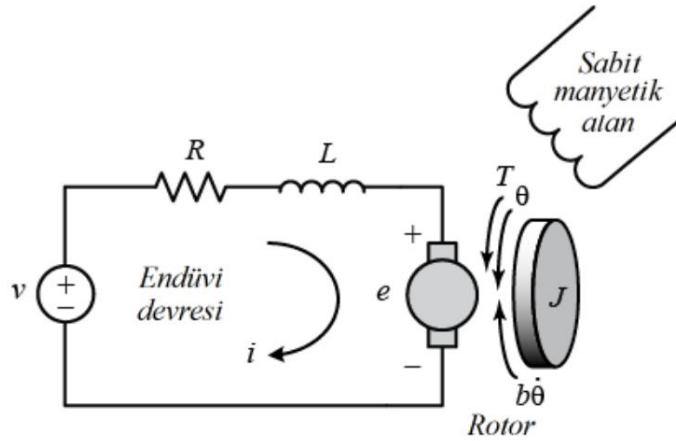
şeklinde yazabiliriz. Burada üstel (n) gösterimi n . ci iterasyondaki değeri belirtmektedir. Üstün (0) olması durumu x_i lerin başlangıç değeri ifade etmektedir. Yukarıdaki iterasyon ,semasını $(N \times N)$ lik bir sisteme

genelleştirirsek formül;

$$x_i^{(n+1)} = \frac{1}{a_{ii}} \left\{ b_i - \left(\sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} x_j^{(n)} + \sum_{j=i+1}^N a_{ij} x_j^{(n)} \right) \right\}, \quad i = 1, \dots, N$$

2.2 Dc Motorun Durum-Uzay Modeli

Dc motor sisteminin durum-uzay modelinde kullanılan şematik model Şekil 2.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Dc Motor Sisteminin Durum-Uzay Modeli

Doğrusal bir sistemin durum-uzay modeli şu şekilde ifade edilir.

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + d$$

Burada x durum vektörü, u giriş vektörü, y çıkış vektörü, A sistem matrisi, B kontrol matrisi ve C çıkış matrisidir. Durum vektörü, $x^T = [\dot{\theta} \quad i]$ seçilen dc motor sisteminin durum-uzay modeli aşağıdaki şekildedir.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -b/J & K_t/J \\ -K_e/L & -R/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/L \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

2.2.1. LQR Denetleyici

LQR, durum geri besleme ile daha gürbüz bir denetim sağlayan optimal kontrol tekniklerinden biridir[5]. Denetleyicinin şematik modeli Şekil 2 'de gösterilmiştir.

$$u(t) = -Kx(t)$$

Denklemler ile ifade edilen optimal kontrol vektörünün çözümü için maliyet fonksiyonu en aza indirilmelidir. Durum-uzay denklemleri yardımıyla performans indeksi

$$(a) \quad J = \int_0^{\infty} [x^T Q x + u^T R u] dt$$

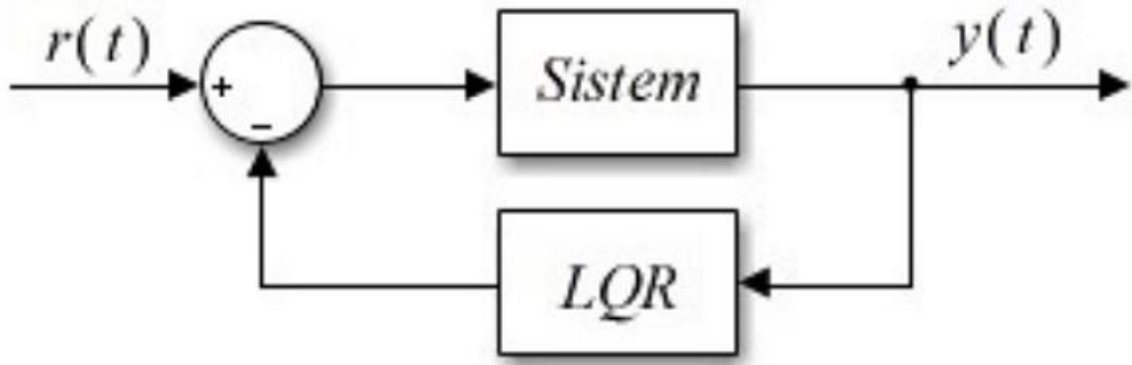
Şeklinde ifade edilir. Burada Q pozitif tanımlı veya pozitif yarı- tanımlı simetrik bir matristir. R ise tek giriş tek çıkış (SISO) bir sistem olduğundan pozitif sabit bir sayıdır.

Denklemler (a) ile ifade edilen maliyet fonksiyonunu en aza indirmek için durumgeri besleme kazancı, K , hesabında kullanılan P cebirsel değeri, Ricatti diferansiyel denklemleri yardımıyla bulunur.

$$A^T P + P A - P B R^{-1} B^T P + Q = 0$$

Ricatti denkleminin çözümünden bulunan P cebirsel değeri yardımıyla durum-geri besleme kazancı şu şekilde hesaplanır.

$$K = R^{-1} B^T P$$



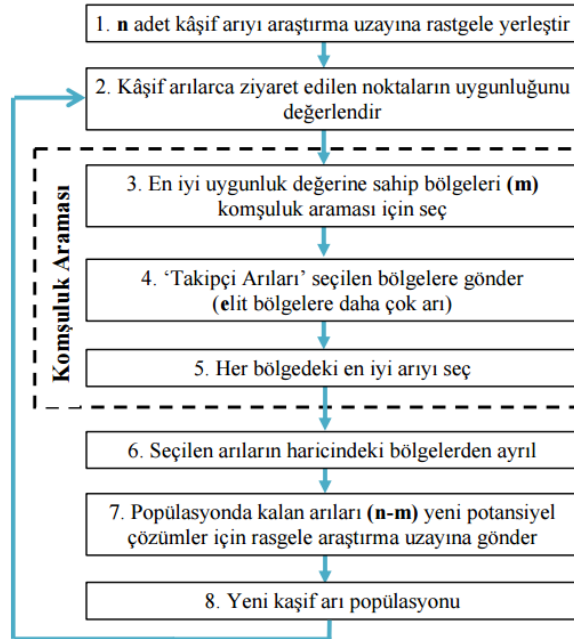
Şekil 2.2 LQR Denetleyicisi

2.2.1.1 İki Tekerlekli Kendi Kendini Dengeleyen Robotun Yörünge Takibi için Arı Algoritması Kullanarak LQR Kontrolcü Tasarımı

Sistemin, kendi kendini dengede tutarak, belirli bir yörüngede hareketinin kontrolü için LQR kontrolcüsü tasarlanmıştır. LQR kontrolcü parametreleri, yörüngeden ve denge noktasından sapmaları (hatayı) minimize etmek amacıyla, Arı Algoritması ile optimize edilerek belirlenmiştir. Kontrolcü tasarımı performans kriteri; sistemin kendi kendini dengede tutabilme kabiliyeti (yunuslama açısının ve türevinin sıfır olması) ve belirlenen düzlemsel bir yörüngede hareket edebilmesi olarak belirlenmiştir.

2.2.1.1.1. Arı Algoritması(AA)

Bu bölümde, temel arı algoritması izah edilmiştir. Arıların kaynak (nektar, su vb.) arama davranışları, öğrenme, hatırlama ve bilgi paylaşma özellikleri sürü zekâsının en ilgi çekici araştırma alanlarından birisidir. Arı Algoritması [11, 12, 13, 14, 15], ilk olarak 2006 yılında D.T. Pham ve arkadaşları tarafından önerilmiş olup, bal arılarının kaynak arama davranışını taklit eden popülasyon tabanlı, sezgisel bir arama algoritmasıdır. Arı Algoritmasına ait akış şeması şekilde verilmiştir.



Şekil 2.3 Arı Algoritması Akış Şeması

D.T. Pham tarafından geliştirilen temel Arı Algoritması birçok parametre içermektedir. Bu parametreler: kâşif arı sayısı (n), ziyaret edilen n nokta içinden seçilen en uygun bölge sayısı (m), seçilen m bölge içindeki elit bölge sayısı (e), en iyi e bölgeye gönderilen arı sayısı (nep), kalan (m-e) bölgeye gönderilen arı sayısı (nsp), bölge boyutu (ngh) ve durdurma kriteri/iterasyon sayısı (itr)'dir.

Algoritması n adet kâşif arının araştırma uzayına rastgele yerleştirilmesi ile başlar. 2. adımda, kâşif arılarca ziyaret edilen noktaların birbirlerine göre uygunlukları değerlendirilir. 3. adımda, n adet bölge içerisinde diğerlerine göre daha uygunluk değerine sahip m adet bölge seçilir. 4.ve 5. adımda, m adet bölge içerisinde en iyi uygunluk değerine sahip elit bölgeler (e) ve geriye kalan bölgeler (m-e) seçilir. Bu bölgelerin komşuluk arama boyutu (ngh) belirlenir. Seçilen bölgelerde komşuluk araması (bölge içinde en uygun noktaların araştırılması) için, daha umut verici çözümleri temsil eden en iyi e bölgeye seçilen diğer bölgelere göre daha fazla takipçi arı (nep), diğer bölgelere ise daha az takipçi arı (nsp) gönderilerek, detaylı arama yapılır. Her bölge içerisinde en uygun değere sahip arı seçilir. 6. 7. ve 8. adımda ise, her bölgede en uygun değere sahip arı haricindeki diğer arılar araştırma uzayından ayrılır. Popülasyondaki diğer arılar (n-m) yeni potansiyel çözümler elde etmek için tekrar, rastgele olarak, araştırma uzayına yerleştirilirler. Optimizasyon durdurma kriteri (itr) sağlanana kadar devam ettirilir. Her bir iterasyonun sonunda yeni popülasyon; seçilen her bir bölgenin temsilcileri ve rastgele arama yapan kâşif arılar olmak üzere iki parçadan oluşacaktır.

2.2.1.1.2. Arı Algoritması ile LQR kontrolcü tasarımı

İkinci Dereceden Doğrusal Düzenleyici/Lineer Quadratic Regulator (LQR) en uygun kontrol girdisini hesaplamak için performans indeksi ve durum değişkenlerini kullanarak yapılan hesaplamalarla tasarlanan bir kontrol yöntemidir. LQR kontrol yöntemi uygulanırken, durum takip hatası ve sistem girdi maliyeti kullanılarak J performans indeksi olarak bilinen bir ilişki tanımlanır.

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (e^T Q e + u^T R u) dt$$

Burada amaç J 'nin minimize edilmesidir. Bu ifadede $e^T Q e$ ve $u^T R u$ kuadritik formda olup Q pozitif belirli veya yarı belirli, R ise pozitif belirli köşegen matrislerdir.

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_n \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} r_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_m \end{bmatrix}$$

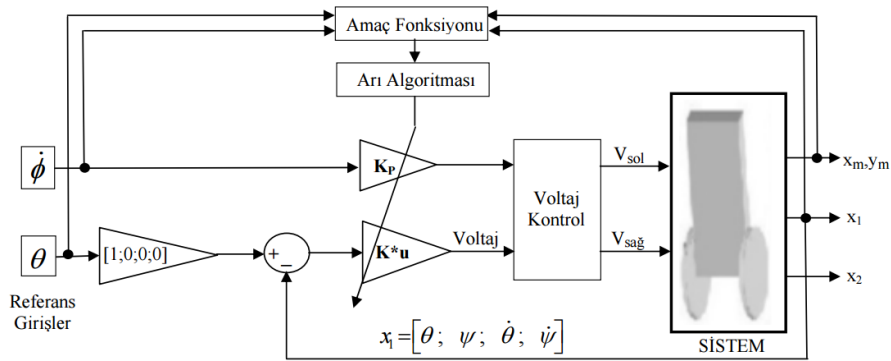
LQR kontrolde kullanıcının tanımladığı q_i ve r_m katsayılarına bağımlı olarak performans indeksi minimize edecek sistem girdisi (u) bulunur. Sistemin durum-uzay modelinde de görülen $\dot{x} = Ax + Bu +$ için sistem girdisi (u) temelde $u=K.x$ şeklindedir. Burada $K=R^{-1}B^T P$ olup, P ise aşağıdaki Ricatti eşitliğinin çözümünden bulunabilen simetrik matristir.

$$PA + A^T P + Q - PBR^{-1}B^T P = 0$$

MATLAB programı bu eşitliği nümerik olarak çözebilmektedir. Ağırlık matrisleri Q ve R , sistem matrisi A ve giriş matrisi B bilindiğinde; “lqr” komutu ile K geri besleme kazanç matrisi bulunmaktadır.

$$K = \text{lqr}(A, B, Q, R)$$

Şekilde sistemin kontrol blok şeması oluşturulmuştur. Sistemin doğrusal hareketinin kapalı çevrim kontrolü tasarlanan LQR kontrolcü ile sağlanmıştır. Dairesel hareket kontrolü ise, sabit bir kazanç katsayısı (K_P) ile açık çevrim kontrol olarak gerçekleştirilmiştir. Kontrol sisteminin girişi; sistemin dönüş (daireysel hareket) açısal hızı ($\dot{\phi}$) ve teker açılarının ortalaması (θ)’dır. Sistemin çıkışı ise x_1 , x_2 durum değişken matrisleri ve sistemin konumu (x_m , y_m)’dur.

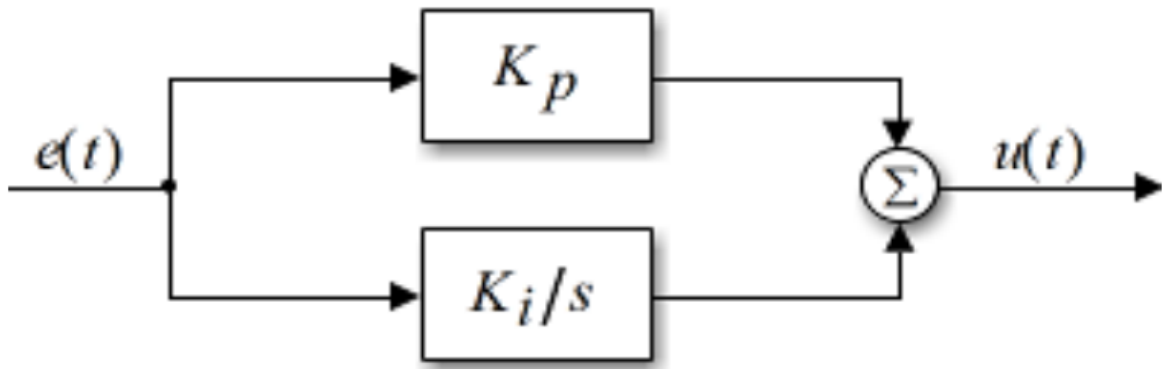


Şekil 2.4 Sistemin Kontrol Blok Şeması

2.2.2. PI Denetleyici

PI, endüstriyel kontrol sistemlerinde yaygın kullanılan optimal kontrol tekniklerinden biridir. Denetleyicinin şematik modeli şekilde gösterilmiştir. PI denetleyicisinin genel ifadesi şu şekildedir;

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)$$



Şekil 2.3 PI Denetleyicisi

Burada K_p oransal kazancı, K_i integral kazancı, $e(t)$ hata sinyali ve $u(t)$ denetleyici girişidir. Denetleyici parametreleri Matlab/Simulink ortamında test edilerek belirlenmiştir.

2.2.3. Kalman Filtresi

Kalman filtresi, doğrusal dinamik sistemlerde, modelin giriş ve çıkış bilgilerinden sistemin durumlarını tahmin edebilen bir filtredir[5]. Filtrenin şematik modeli Şekil 4 'te gösterilmiştir. Gürültü ortamında doğrusal sistemlerin durum-uzay denklemleri şu şekilde tarif edilir.

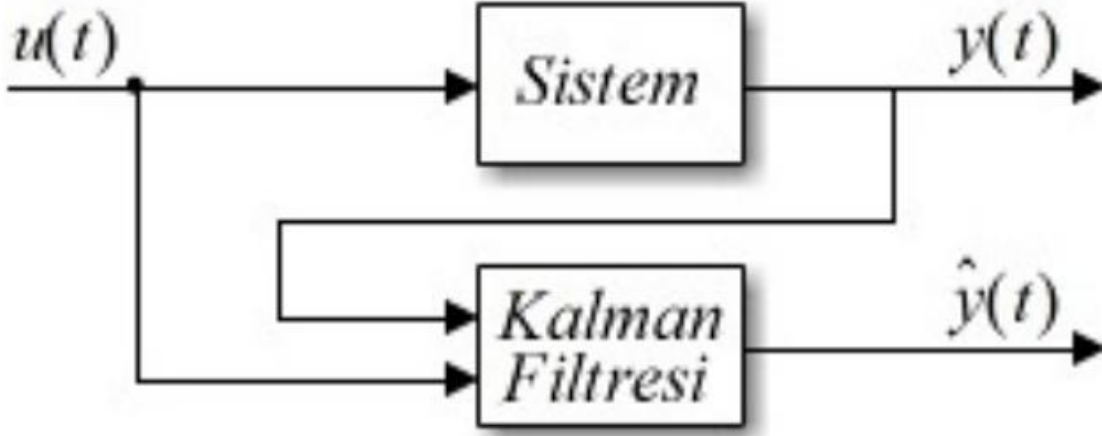
$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu + w \\ y &= Cx + v \end{aligned}$$

İşlem gürültüsü $w \sim N(0, Q)$ ve ölçüm gürültüsü $v \sim N(0, Q)$ olarak ifade edilmiştir. Burada Q giriş kovaryans matrisi ve R çıkış kovaryans matrisidir. Maliyet fonksiyonunu en aza indiren eden P_e cebirsel sabiti, ricatti denkleminde hesaplanır.

$$P_e A^T + A P_e - P_e C^T R_w^{-1} C P_e + Q_v = 0$$

Ricatti denklemi yardımıyla filtre kazancı, K_e , şu şekilde hesaplanır.

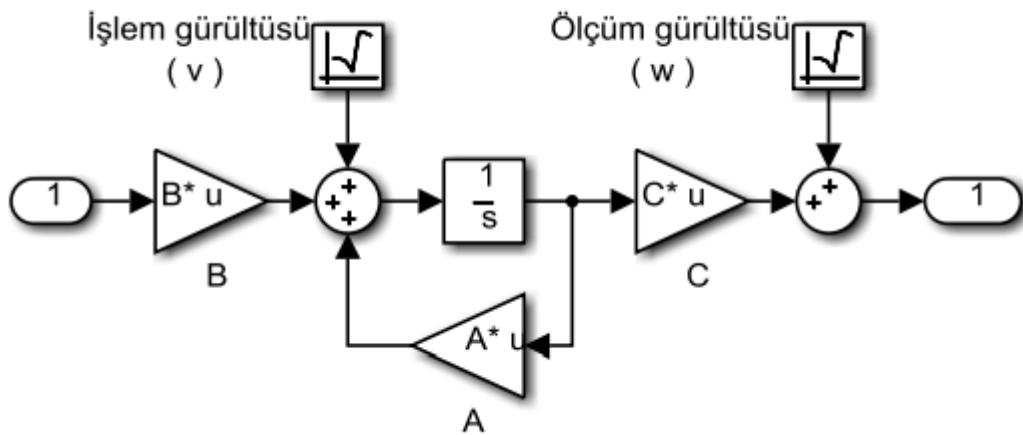
$$K_e = P_e C^T R_w^{-1}$$



Şekil 2.4 Kalman Filtresi

2.3. Simulasyon Çalışmaları

Bu çalışmada LQR ve PI denetleyicilerin gürültülü ve gürültüsüz ortamlardaki performansları incelenmiştir. Ayrıca gürültü altındaki sistemin performansının artırılması için kalman filtresi kullanılmıştır. Kullanılan dc motor sisteminin simulink modeli şekilde verilmiştir.



Şekil 2.5 DC Motorun Simulink Modeli

Dc motor simulasyonunda tabloda verilen parametre değerleri kullanılmıştır. Kullanılan parametre değerleri ile oluşan sistem matrisi, kontrol matrisi ve çıkış matrisi şu şekildedir.

$$A = \begin{bmatrix} -101.1 & 143.6 \\ -0.003 & -7.3 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 4.26 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Eylemsizlik momenti	J	0.002712	$kg \cdot m^2$
Sürtünme sabiti	b	0.099169	$N \cdot m \cdot s$
Elektro motor kuvveti sabiti	K_e	0.531380	$V \cdot s / rad$
Tork sabiti	K_t	0.279060	$N \cdot m / A$
Direnç değeri	R	1.850300	Ohm
İndüktans değeri	L	0.317610	H

Tablo 1 Parametre Değerleri

Doğrusal kontrol sistemlerinde en önemli unsurlardan biri sistem kararlılığıdır. Kararlılık analizi için sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonunun karakteristik denklemi incelenmiştir.

$$s^2 + 108.4s + 738.5 = 0$$

Routh hurwitz kararlılık ölçütüne göre sistemin kararlı olduğu belirlenmiştir.

Bir sistemde denetleyici ve gözlemleyici tasarımından önce sistemin kontrol edilebilir ve gözlemlenebilir olması gerekir. Dc motor sisteminin kontrol edilebilirlik ve gözlemlenebilirlik analizinde sistemin kontrol edilebilirlik matrisi P_c ve gözlemlenebilirlik matrisi P_o incelenmiştir.

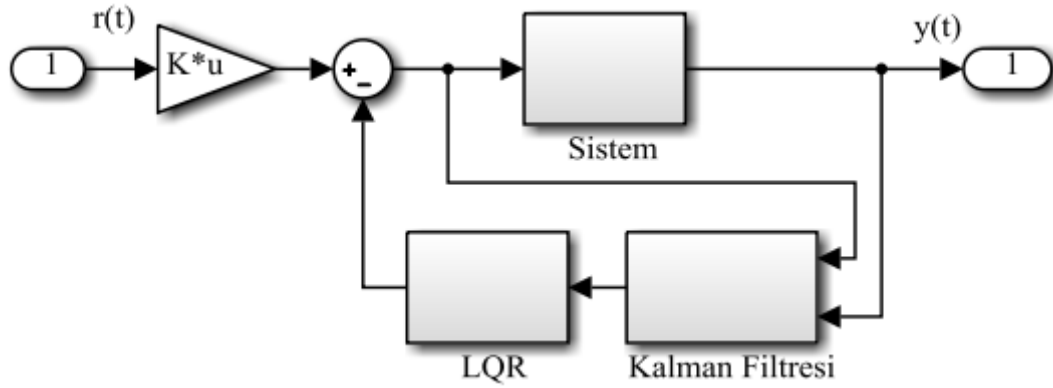
$$P_c = [B \quad AB] = \begin{bmatrix} 0 & 611.736 \\ 4.26 & -31.098 \end{bmatrix}$$

$$P_o = \begin{bmatrix} C \\ CA \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -101.1 & 143.6 \end{bmatrix}$$

Kontrol edilebilirlik ve gözlemlenebilirlik matrisleri tekil olmayan matrisler olduklarından sistemin kontrol edilebilir ve gözlemlenebilir olduğu belirlendi.

2.3.1. LQR Denetleyicisinin Simulasyonu

Bu bölümde LQR denetleyicisinin tasarımı, hesaplamaları ve simulasyonu yapılmıştır. Kalman filtreli LQR denetleyicinin simulink modeli şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.6 LQR Denetimli Sistemin Simulink Modeli

LQR denetiminde kullanılan ağırlık matrisleri

$$Q_c = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_c = 100$$

Olarak seçilmiştir. Q_c , R_c , A , B matrisleri kullanılarak LQR kazancı şu şekilde hesaplanmıştır.

$$K_c = [0.0003 \quad 0.0084]$$

Optimal kontrol eşitliği $u = -K_c x(t)$ ile sistemin durum-uzay modeli hesaplanmıştır.

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -101.1 & 143.6 \\ -0.004 & -7.3 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 4.26 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} x$$

(a)

Daha gürbüz bir denetim için Matlab/Simulink ortamındaki dc motor modeline gürültü eklenmiştir. LQR denetleyicisinin gürültü altındaki performansı arttırmak için kalman filtresi kullanılmıştır. Kalman filtresinde kullanılan kovaryans matrisleri

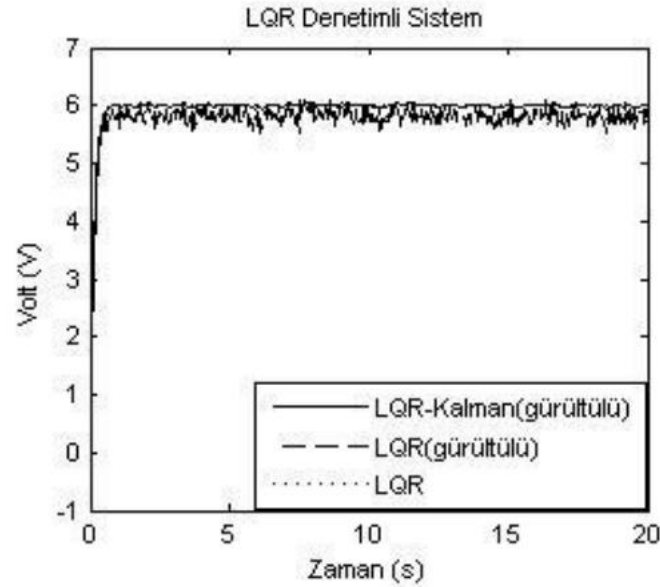
$$Q_e = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, R_e = 1$$

(b)

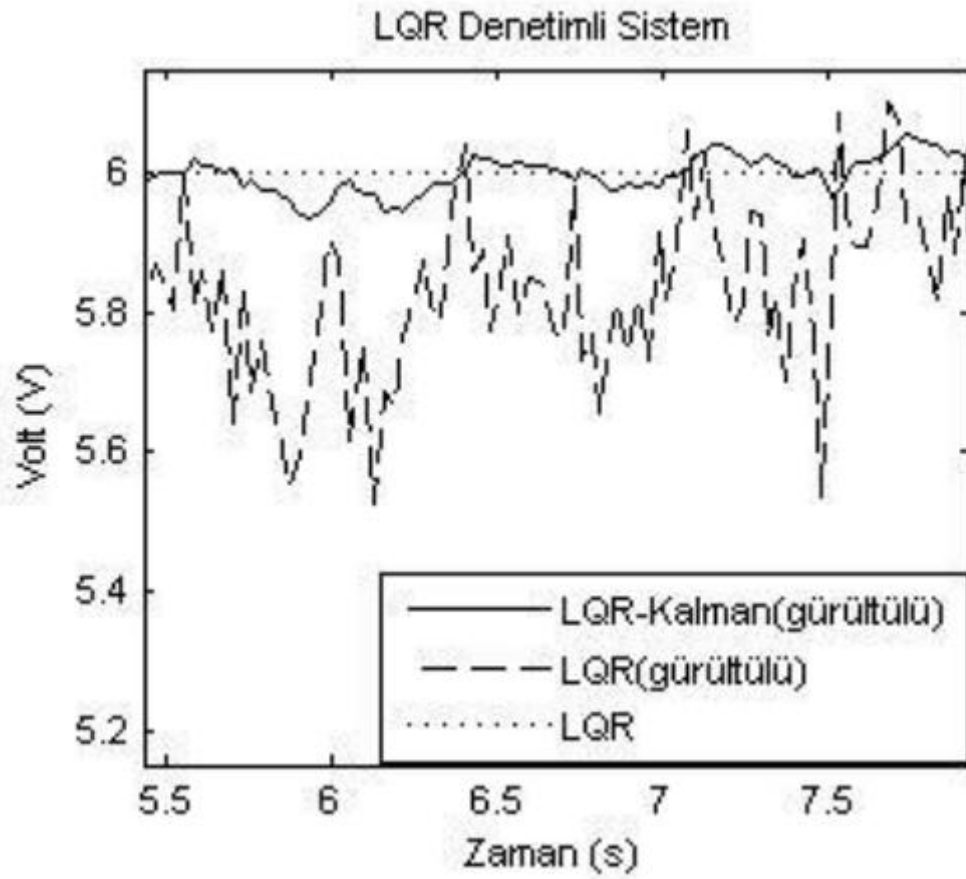
Olarak seçilmiştir. Q_e , R_e , A , B matrisleri kullanılarak kalman kazancı şu şekilde hesaplanmıştır.

$$K_e = \begin{bmatrix} 3.6265 & 2.5985 \end{bmatrix}^T$$

LQR denetimli sistemin simulasyon sonuçları ve yakınlaştırılmış sonuçlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



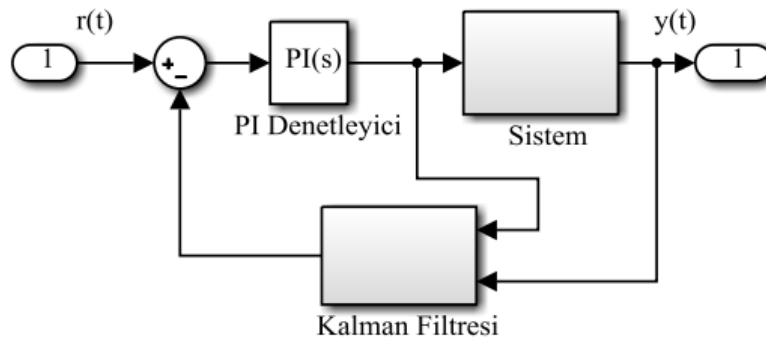
Şekil 2.7 LQR Denetimli Sistemin Simulasyon Sonuçları



Şekil 2.8 LQR Denetimli Sistemin Yakınlaştırılmış Simulasyon Sonuçları

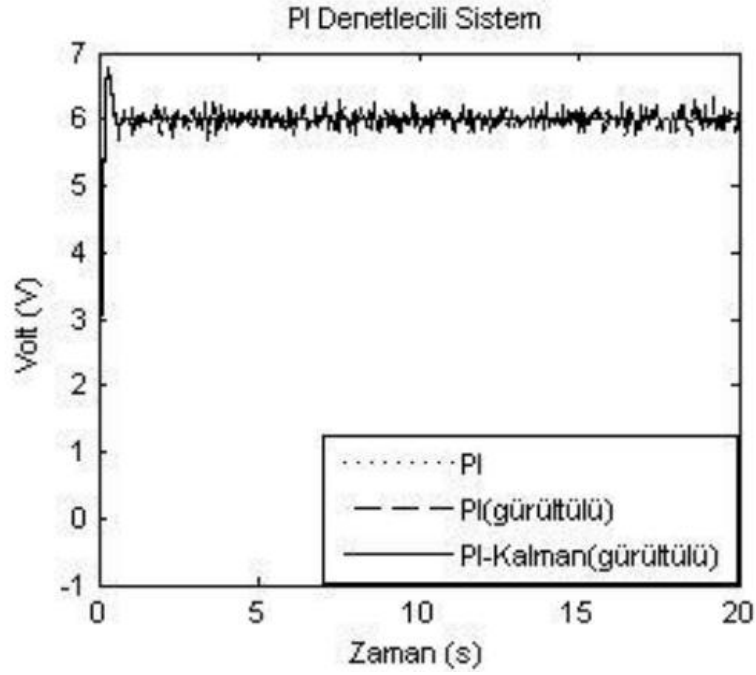
2.3.2. PI Denetleyicisinin Simulasyonu

Bu bölümde PI denetleyicisinin tasarımı ve simulasyonu yapılmaktadır. PI denetleyicisinin simulink modeli aşağıda verilmiştir.

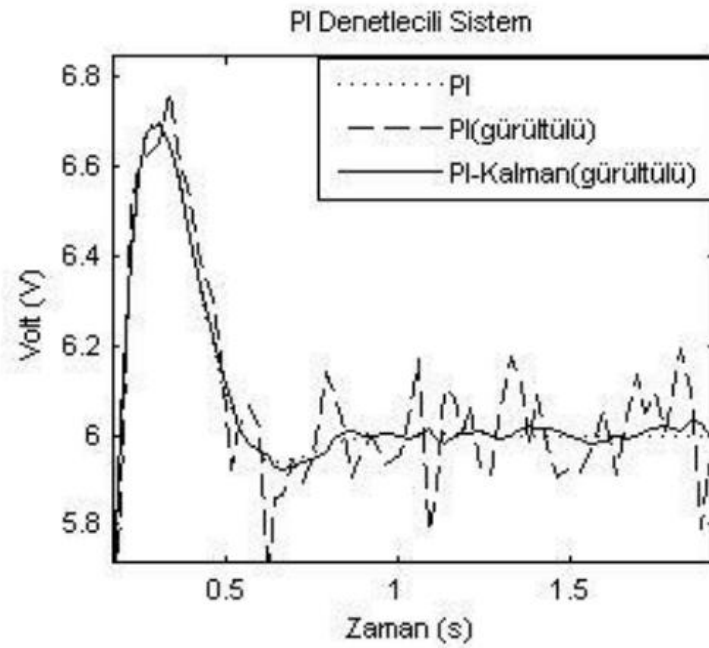


Şekil 2.9 PI Denetimli Sistemin Simulink Modeli

PI denetleyici kazançları $1.09 K_p =$ ve $18.93 K_i =$ olarak kullanılmıştır. Aynı gürültü ortamı PI denetleyisine de uygulanmıştır. PI denetleyicisinin gürültü ortamındaki performansını arttırmak için denklem (a) ve denklem (b) kullanılarak kalman filtresi uygulanmıştır. PI denetimli sistemin simulasyon sonuçları ve yakınlaştırılmış sonuçlar aşağıda verilmiştir.

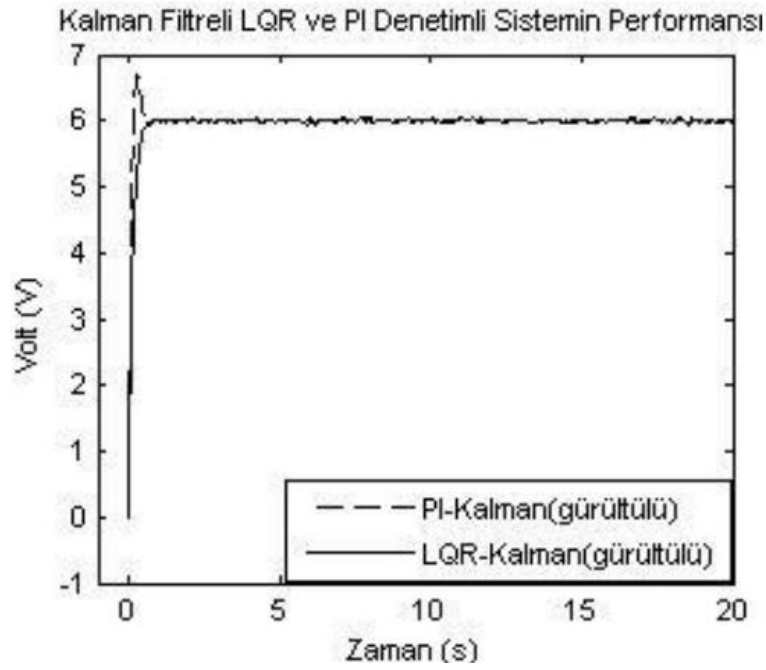


Şekil 2.10 PI Denetimli Sistemin Simulasyon Sonuçları



Şekil 2.11 PI Denetimli Sistemin Yakınlaştırılmış Simulasyon Sonuçları

LQR ve PI denetleyicilerinin kalman filtreli performansları şekilde verilmiştir.



Şekil 2.12 LQR ve PI Denetleyicilerinin Kalman Filtreli Performansları

Denetleyicilerin filtresiz ve filtreli performanslarını karşılaştırmak için ortalama karesel hataları ve yatışma süresi, tepe genliği, taşma miktarı değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Ortalama Karesel Hata	Kalman Filtresiz	Kalman Filtreli
LQR	<i>0.0414</i>	<i>0.00042</i>
PI	<i>0.0121</i>	<i>0.00024</i>

Tablo 2 LQR ve PI Denetimli Sistemlerin Ortalama Karesel Hataları

Denetleyici	Yatışma Süresi	Tepe Genliği	Taşma Miktarı
LQR	0.55 s	6	%0
PI	0.49 s	6.71	%11.8

Tablo 3 LQR ve PI Denetleyicilerin Karşılaştırma Sonuçları

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

Bu tezin amacı amaçları aşağıda sıralanmıştır;

- a.** İki tekerlekli dengede durabilen robotlarda kontrol metotları konusunda ulusal alanda yazılmış olan tez, makale ve bildirileri taranmıştır.
- b.** İki tekerlekli dengede durabilen robotlarda kontrol metotları konusunda uluslararası alanda yazılmış olan tez, makale ve bildirileri taranmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada robot çeşitleri, iki tekerlekli robot tasarımı ve kontrol metotları incelenmiştir. LQR ve PI denetimli sistemin simülasyonu gürültüsüz ve gürültülü ortamlarda gerçekleştirilmiştir. Denetleyicilerin gürültü ortamındaki performanslarını yükseltmek için kalman filtresi tasarlanmıştır. Kalman filtresinin denetleyiciler üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Daha sonra kalmanlı LQR ve kalmanlı PI denetleyicileri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre LQR denetimli sistemin tepe genliği ve taşma miktarı kriterlerinin, PI denetimli sistemin ise ortalama karesel hata ve yatışma süresi kriterlerinin daha başarılı olduğu görülmüştür.

KAYNAKÇA

1. Chiu C. H., Peng Y. F., “Design and Implement of the Self- Dynamic Controller for Two-Wheel Transporter”, 2006 IEEE International Conference on Fuzzy Systems Sheraton Vancouver Wall Centre Hotel, Vancouver, BC, Canada, July 16-21, pp: 480-3, 2006
2. Şen M.A., Kalyoncu M., Tinkır M., “İki Tekerlekli Kendini Dengeleyebilen Bir Araç İçin Yapay Sinir Ağı ve Bulanık Mantık Tabanlı Kontrolcü Tasarımı”, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı – (TOK 2014), Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı Bildiriler Kitabı, s. 682-687, Kocaeli, 11-13 Eylül 2014.
3. Yamamoto Y., NXTway-GS Model-Based Design-Control of self- balancing two-wheeled robot, built with LEGO Mindstorms NXT. Cybernet Systems Company, Ltd. 2008.
4. Pham D.T., Koç E., Ghanbarzadeh A., Otri S., Rahim S., Zaidi M. The Bees Algorithm - A Novel Tool for Complex Optimisation Problems, 2nd International Virtual Conference on Intelligent Production Machines and Systems, 454-461, 2006.
5. M.-a., Jiao, L.-f., Qiao, J.-f., & Ruan, X.-g. (2008). Balance control of robot with CMAC based Q-learning. In Chinese control and decision conference, 2008. CCDC 2008 (pp. 2668–2672).
6. C., Li, F., Wang, S., Dai, F., Bai, Y., Gao, X., et al. (2010). Dynamic adaptive equilibrium control for a self-stabilizing robot. In IEEE international conference on robotics and biomimetics (ROBIO), 2010 (pp. 609–614).
7. C., Gao, X., Huang, Q., Dai, F., Shao, J., Bai, Y., et al. A coaxial couple wheeled robot with T–S fuzzy equilibrium control. Industrial Robot: An International Journal, 38, 292–300. (2011).
8. Review of modelling and control of two-wheeled robots 89–103 (2013)



Erdoğan KURŞUNCU

Telefon : 0 (507) 165 0139

0 (536) 857 9716

Adres : Millet Mah. Dervişbey Cad. Ali Bostancı-Bursa Reel Sit. S Blok Kat: 3

Daire: 9 Yıldırım/BURSA

E-Posta: : k_kursuncu@hotmail.com

Doğum Tarihi : 05.05.1993

Doğum Yeri : Gemlik/BURSA

Medeni Hali : Bekar

Eğitim Durumu:

1999 - 2003 : Atatürk İlköğretim Okulu

2003 - 2005 : Bursa Kültür Koleji

2005 - 2007 : Yalova Yücebilgili Koleji

2007 - 2011 : Orhangazi Öğretmen Eyüp Topçu Anadolu Lisesi

2011 - 2012 : Karabük Üniversitesi Yabancı Diller Yüksekokulu İngilizce Hazırlık

2012 - : Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği

Askerlik Durumu: Yok.(Tecilli)

Yabancı Diller:

- İngilizce : (İyi Seviyede)
- Almanca : (Düşük Seviyede)

Deneyimler:

2011 - Karabük Üniversitesi Robot Klübü

30.06.2014 - 25.07.2014 Martur A.Ş Kısa Dönem Yaz Stajı (Üretim Departmanı)

10.08.2015 – 04.09.2015 Componenta Dökümcülük Tic. ve San. A.Ş. (Üretim Departmanı)

Bilgisayar Bilgisi:

- Microsoft Windows 98/XP/Vista/Windows7/Windows8/Windows10
- Microsoft Office Word - Excel - Powerpoint (İyi Derecede)
- Autocad (Orta Derecede)
- Ansys (Orta Derecede)
- Solidworks (Orta Derecede)
- Matlab (İyi Derecede)
- C++ (İyi Derecede)
- Visual Studio 2008 (İyi Derecede)

Alınan Sertifikalar:

- **NLP Practitioner**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **Bireysel Koçluk Practitioner**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **INNOVATIC Yenilikçi Düşünce**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **Stres ve Zaman Yönetimi**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **Takım Çalışması ve Yönetim Becerileri**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **Etkili Konuşma ve Diksiyon**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **Etkili İletişim, Beden Dili ve İmaj Yönetimi**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **Satış, Pazarlama ve İkna Teknikleri**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **Cv Oluşturma ve Mülakat Teknikleri**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **Stratejik Yönetim**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **Entegre Yönetim Sistemi**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **ISO 9001:2008 İç Tetikçi**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **ISO 9001:2015 Revizyon**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016

- **ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016
- **ISO 9001:2008 Kalite Yönetim Sistemi**, ULUSLARARASI BİLİM ve EĞİTİM FEDERASYONU (UBEF) - 02.2016