TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

İNSANLIK YARARINA TEKNOLOJİ YARIŞMASI
PROJE DETAY RAPORU

PROJE ADI: Dört Ayaklı İnsansız Kara Aracı Tasarımı

TAKIM ADI: Q-UGV

KATEGORİ: Sosyal İnovasyon

Başvuru ID: 396596

TAKIM SEVİYESİ: Lise

DANIŞMAN ADI: İrfan KAYA

İçindekiler:

1. **Giriş……3**
2. **Çözüm……4**
3. **Yöntem……13**
4. **Yenilikçi (İnovatif) Yönü……13**
5. **Uygulanabilirlik……..14**
6. **Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması……14**
7. **Hedef Kitle……..15**
8. **Proje Risk Matrisi……..15**
9. **Bulgular……...16**
10. **Sonuç ve Tartışma……..16**
11. **Kaynakça……17**

1. Giriş

1.1 Proje özeti

Günümüzde teknolojinin hızlanarak gelişmesi sürekli yeni iş alanları doğurmakta ve bu da beraberinde yeni problemler getirmektedir. Bu proje spesifik problemlere çözüm bulmak yerine hayatın her alanında insanlar için risk teşkil eden veya insanlığın gerçekleştirmekte zorlandığı birçok göreve çözüm olabilecek bir sistem tasarımına odaklanmaktadır. Aracımız, ortam koşullarından bağımsız kullanım imkanı veren dinamik sistem tasarımı ve multi-fonksiyonel yapısı sayesinde her türlü göreve hizmet etme potansiyelindedir. Örneğin uzay görevlerinde yaşam şartlarının, biyolojik izlerin ve mikrobik yaşamın araştırılması, numune toplanması; fabrikalarda, maden ocaklarında tehlikeli rutin tetkiklerin yerine getirilmesi; sınır güvenliği, mayın tespiti gibi askeri operasyonların gerçekleştirilmesi; yaşlı, engelli bireylere rehber robot/hizmet robotu görevi görmesi ve benzeri keşif, gözlem, haritalama görevlerinde kendisine büyük bir yer bulmaktadır. Robotumuz yeni bir ekosistem tasarımını temsil etmesiyle de dikkat çekmektedir. Bu ekosistemi açıklamak gerekirse geliştirilebilir bir platform tasarımına sahip robotumuz bu ekosistemin çekirdeğidir. Bu çekirdek robot üzerine görevin doğurduğu ihtiyacı karşılayacak donanımlar eklenerek göreve adapte edilebilmesi fonksiyonel bir kullanım imkanı kazandırmıştır. Bu hem maliyetin azaltılması hem de robotun kullanım alanının yalnızca hayal gücüyle sınırlı kalması anlamına gelmektedir. (örneğin uzay görevlerinde robotun dahili kamerası sayesinde alınan fotoğraf numunelerinin yanı sıra gerekli görüldüğünde bir robot kol modülü eklenerek fiziki numuneler alınabilmektedir. Bu görevler bu ekosistem sayesinde çeşitlendirilebilir)

1.2. Projenin amacı

Hayatın her alanında insanlar için risk teşkil eden veya insanlık olarak gerçekleştirilmekte zorlanılan görevlerin otonom ve manuel olarak yerine getirilmesini sağlayan dört ayaklı multi-fonksiyonel bir insansız kara aracı tasarlanması.

1.3. Problem Durumunun Tanımlanması

Her yıl inşaat alanlarındaki, maden ocaklarındaki rutin tetkikler; askeri operasyonlar (arama kurtarma, sınır güvenliği vb.) gibi insanlar için yüksek risk teşkil eden görevlerin; uzay görevleri, jeolojik araştırmalar, keşif görevleri gibi insanlık olarak yapmakta zorlandığımız görevlerin çok yüksek hayati tehlikeler teşkil etmesi ve bu yönde geliştirilen sistemlerin oldukça pahalı ve kullanışsız olması.

1.4. Alt Problemler:

Yapılacak robotun;

- Yapılacak sistemin davranışının incelenmesi ve farklı parametrelerin çalışma durumuna etkilerinin araştırılması amacı ile simülasyonunun yapılması,
- Yapılan sistemin her türlü ortamda/arazide (çamur, engebeli zemin, kar, su birikintisi …) sorunsuz çalışabilmesi,
- Tipik tekerlek ve palet mekanizmalarının zorlu arazi şartları için yetersiz kaldığı durumlarda dahi çalışabilmesi,

- Drone benzeri araçların aksine ortamda kendini belli etmemesi ve ortamda hassas davranması,
- Araziyi anlık olarak tarayıp engelleri ve hedefi tespit edebilmesi,
- 3 eksende rotasyon hareketlerini gerçekleştirebilmesi,
- Robotun, gereken donanımların robot üzerine eklenip çıkarılabilecek potansiyele sahip tasarım ve yazılıma sahip olması,
- Yürüyen bir robotun ortaya çıkaracağı dengesizliklere karşı durumunu koruyabilmesi istenir.

2. Çözüm:

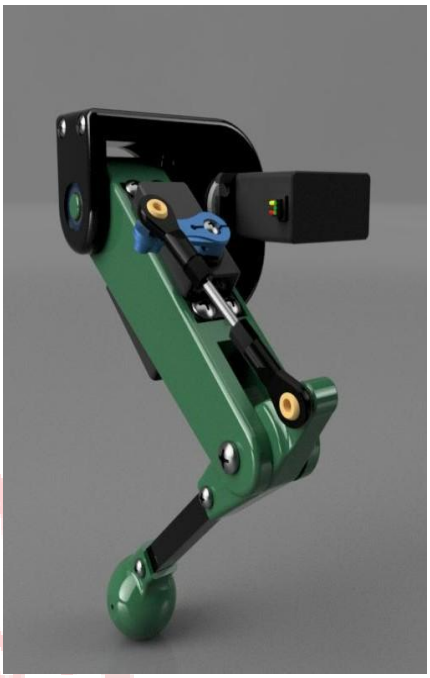
2.1 Mekanik:

Şekil 1 *Genel mekanik tasarım*

2.1.1. Hareket Mekanizması

Robotun her türlü ortama dinamik bir şekilde uyum sağlaması istendiği için tekerlek, palet mekanizmalarına göre daha efektif bir mekanizma olan bacak mekanizmasının kullanılması uygun görülmüştür. Üç eksende gövdenin rotasyon hareketini gerçekleştirebilmesi için her bir bacakta omuz, üst bacak ve alt bacak olmak üzere 3 adet, toplam 12 adet motor 12 farklı eklemi kontrol etmektedir.

Motorların kontrol ettiği parçaların uzunluklarından dolayı her motor için kuvvetten kayıp yaşanmaktadır. Bu sebeple motorlara binen yükün en aza indirilmesi için olabildiğince yüksek torklu ve olabildiğince hafif olmasına ve çevresel etkilere karşı oluşturulan cevapların en hızlı şekilde uygulanabilmesi için olabildiğince hızlı olmasına (bu sebeple çekirdeksiz bir motora sahip olmasına) dikkat edilmiştir. Bu nedenle 36kg/s yüksek torklu, 0.11s/60 çalışma hızına sahip, 63g servo motorlar uygun görülmüştür.



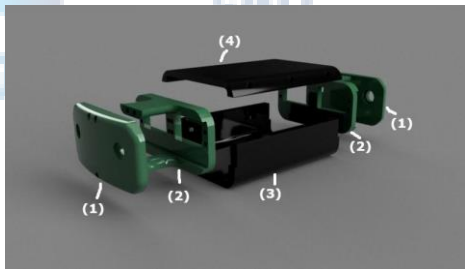
Şekil 2 *Genel mekanik*

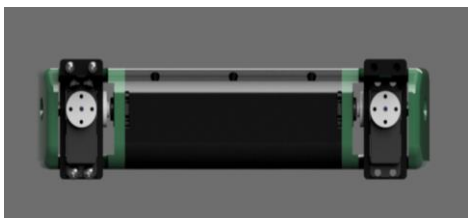
Motorların konumlandırılmasında da belli başlı kaidelere dikkat edilmiştir. Omuz ve üst kolu kontrol eden motorlar kontrol ettikleri parçalara doğrudan bağlanmış, alt kol kontrolünü üstlenen motor ise üst kolun içinde konumlandırılmış ve mafsal rulmanlar bulunan bir rod ile alt kola bağlanmıştır. Bu sayede atalet azaltılmış ve daha dengeli bir robot oluşturulmak istenmiştir. Ayrıca motorun mil kısmı alt kolun eklem kısmına yakın tutulmasıyla yoldan kazanç sağlanmış böylece robotun daha hızlı hareket etmesi sağlanmıştır.

Böylece robotun genel hareket mekanizması oluşturulmuştur.

2.1.2. Gövde

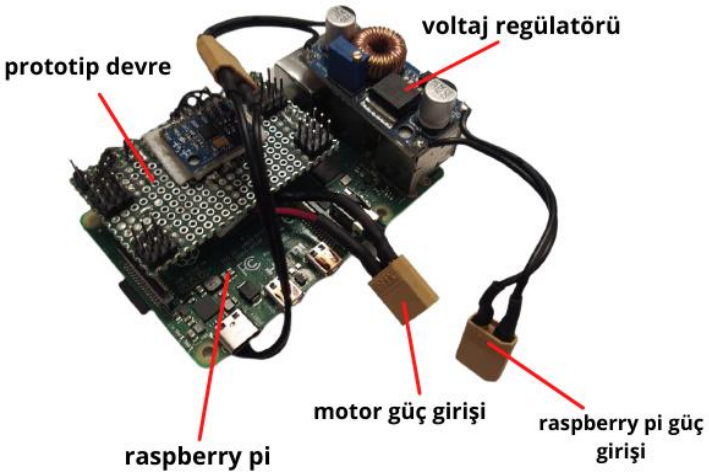
Robotun gövdesi ataleti olabildiğince azaltmak adına olabildiğince küçük tasarlanmıştır. Gövdenin küçük boyutuna karşın omuz motorlarının yatay yerine dikey şekilde konumlandırılması sayesinde robotun iç hacmi genişletilmiştir. Gövde; destek plakları(1), servo plakları(2), ana gövde(3) ve kapak(4) olmak üzere 4 farklı parçadan oluşmaktadır. Servo motorlar servo plaklarına, plaklar ise direkt insert somunlar ile plastik parçaların içine geçirilmiş somunlara vidalanmaktadır. Destek plakları ise robotun ön ve arkasında bulunan ve bacakları taşıyan omuz parçalarının dönüş ekseninden çıkmasını engelleyen ve robotu güçlendiren parçalardır. Kapak parçası ise herhangi bir yük taşımamaktadır. Bu yöntem, kolayca takılıp çıkarılarak elektroniğe kolayca ve hızlıca müdahale imkanı sunmaktadır.





Şekil 3 *Omuz motorlarının konumlandırılması*

2.2. Elektronik



Şekil 4 *Genel elektronik yapı*

2.2.1. Batarya

Robotta kullanılan 12 adet hareket motorunun enerji gereksiniminin oldukça yüksek olması ve bunun dışında enerji gereksinimini arttıran Linux bilgisayar ve sensörler, robotta kullanılacak bataryanın kapasitesinin uzun süreli kullanım için oldukça yüksek olması gereksinimini beraberinde getirmektedir. Bu yüksek enerji gereksinimini yeterli şekilde karşılamak için bir Li-Po pil kullanılmasının uygun olacağı, Li-Po pillerin yoğun enerji verebilme kapasitelerinden, yüksek gerilimlere ulaşabilmelerinden ve boyutuna göre hafifliğinden dolayı düşünülmüştür. Kullanılan batarya ise 2 hücreli yani 7.4 volt ve 2800 mAh değerlerine sahip bir Li-Po pildir. 2 hücreli bir pil kullanılmasının nedeni ise sağladığı gerilim ana hareket motorları ve Linux bilgisayar için yeterli düzeyde olmasıdır.

Fakat kullanılan bataryanın sağladığı çalışma süresi daha da arttırılabileceğinden bataryanın yükseltilmesi öneriler arasındadır. Ayrıca Li-Po piller aşırı deşarj olduklarında tehlike yaratabildikleri için bataryanın anlık gerilim değerini gösteren ve deşarj olduğunda uyarı veren "Li-Po Tester" isimli cihaz da kullanılmıştır.

2.2.2. Minik Linux Bilgisayar (Raspberry Pi)

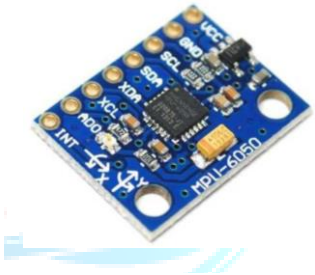
Robotun anlık olarak yüzlerce hesap yapan karmaşık yazılımının işlevlerini yerine getirebilmesi ve anlık çevre şartlarına göre tepkiler oluşturabilmesi ayrıca ilerleyen zamanlarda robota eklenecek lidar, kamera, robot kol gibi donanımların işlenebilmesi için hızlı ve kabiliyetli bir bilgisayara ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat aynı zamanda da bu bilgisayarın küçük boyutlarda olup, az güç harcaması da istenmektedir. Bunun için Raspberry Pi 4 isminde kredi kartı büyüklüğünde küçük boyutlu bir bilgisayar kullanılmıştır. Kullanılan bilgisayar Linux tabanlı bir işletim sistemine sahip olup 2GB gibi yeterli düzeyde belleğe sahiptir. Üstelik internete bağlanabilme kapasitesinin de

oldukça iyi olduğunda ileride robottan kullanıcıya anlık video iletimi gibi kullanımlar için de oldukça uygun bir bilgisayardır.

2.2.3. Kamera

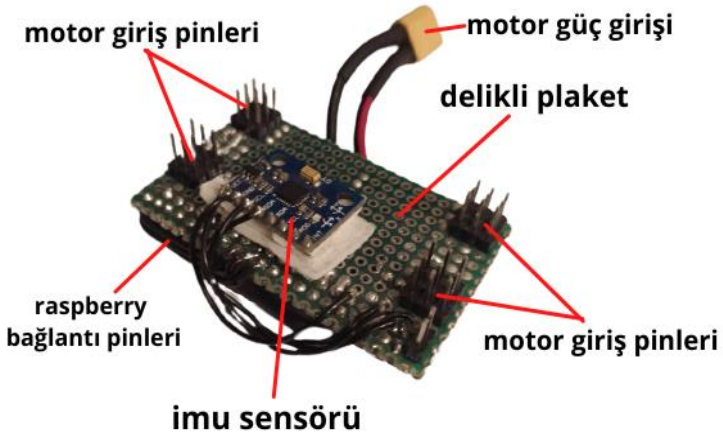
Robotun çektiği görüntüyü anlık olarak kullanıcıya aktarabilmesi ve görüntü işleme yazılımını çalıştırabilmesi için ihtiyacı olacak kameranın hangi kamera olacağının seçiminde robotun ön kısmında bulunan alan hesaba katılarak seçimi yapılmış ve sadece 3 gram ağırlığında olup 2,5 cm gibi boyutlara sahip olan ve Raspberry Pi için özel tasarlanmış 5 mp'lik Pi Camera'nın kullanılmasına karar verilmiştir.

2.2.4. IMU Sensörü



Simülasyonun da göstermiş olduğu gibi robotun düz bir zeminde sorun yaşamadan yürüyebilmesi mümkündür. Fakat gerçek hayat kullanımlarında yolun hiçbir zaman dümdüz olmayacağı bir gerçektir. Bu sebeple ortam koşulları sonucu oluşacak dengesizliklere karşı kendi durumunu koruması gerekmektedir. Bu noktada bir eksen ivme sensörü kullanılarak dengede oluşan hataların tespit edilmesiyle bir geri besleme mekanizması kurulmuştur. Bu sayede robot üzerinde daha stabil bir hareket sağlanmıştır.

2.2.5. Prototip Devre



Şekil 5 *Prototip devre*

Hem robotun "anakartı" olarak tanımlanabilecek devreyi oluşturmak hem de temassızlıklar ve kısa devreler gibi problemlere çözüm bulabilmek için "pertinaks" olarak da bilinen delikli bakır levha ile ev yapımı ve robotun sahip olduğu bütün elektronik elemanları Raspberry Pi'ye bağlayan bir devre tasarlanıp üretilmiştir. Böylece hem robotun iç elektronik kısmında daha iyi bir kablo düzeni elde edilmiş hem de robot için daha güvenilir bir anakart oluşturulmuştur. Oluşturulan devrede 6x13 cm boylarında bir delikli bakır levha kullanılmış olup THT(Through Hole Technology) yöntemi ile çeşitli dişi ve erkek pinler lehimlenerek robottaki bütün elektronik elemanların Raspberry Pi'ye "Jumper Kablolar" aracılığıyla bağlanması

sağlanmıştır. Projenin daha ileri geliştirmelerinde robota daha profesyonel ve kolay üretilebilir bir yapı kazandırmak için PCB baskı yöntemi kullanılarak üretilecek anakart tasarımı yapılmaktadır.

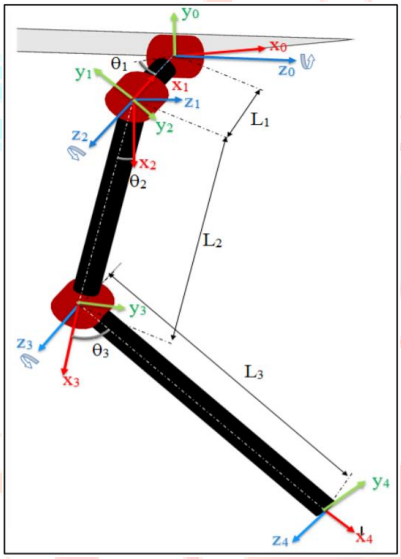
2.3. Yazılım:

Bu projede yazılım denilen kavramı daha iyi açıklayabilmek için aynı zamanda hem bütünsel düşünmemiz hem de bu yazılımı çeşitli parçalara ayırıp parçalar üzerinde ayrı olarak da düşünmemiz gerekmektedir.

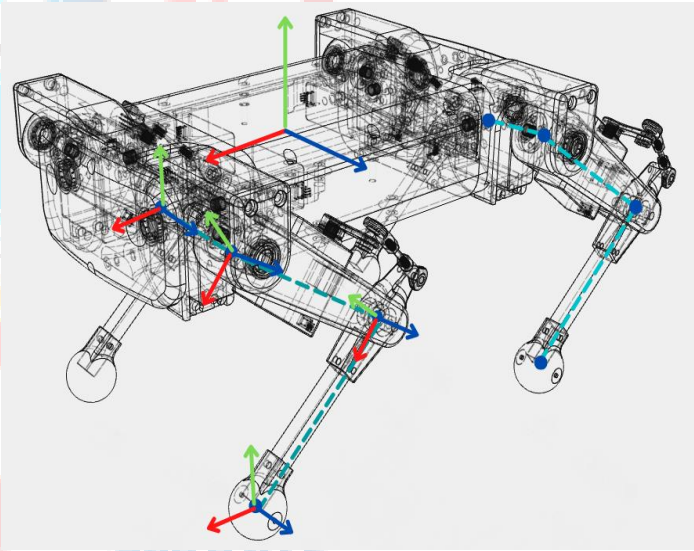
2.3.1 Raspberry Pi ve Python

Raspberry Pi'de bir python yapay çalışma ortamı (virtual environment) oluşturularak robotun tüm işlevlerini kontrol edilmesi ile bütün Python script'lerinin bir araya toplanarak bir bütün halinde robotun kontrol edilmesi sağlanmaktadır.

2.3.1.1 Ters Kinematik



Şekil 6 *Bacak eklemlerinin koordinat sistemleri*

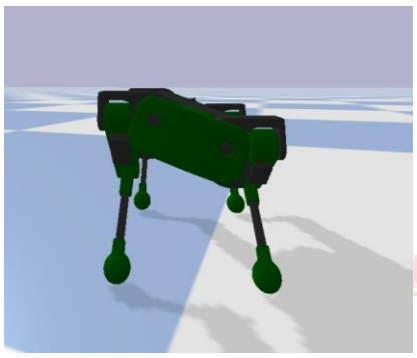


Şekil 7 *Vücut kinematiği vektör gösterimi*

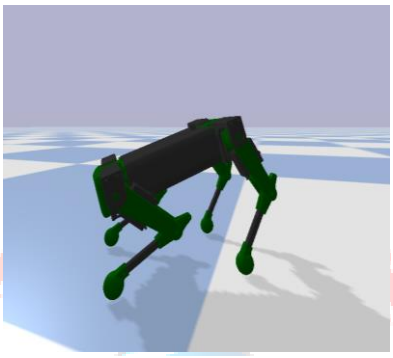
Ters kinematik bu tür bacaklı robotların en önemli ve en temel bileşenidir. Robotta bacakların istenen pozisyonlarda konumlandırılmasını ve bu sayede istenen hareketlerin gerçekleştirilmesi bu hesaplamalar sonucu oluşur. Burada kinematik iki ana başlık altında değerlendirilir: Bacak kinematiği ve vücut kinematiği. Bacak kinematiği robotun gerçekleştirdiği tüm hareketlerin temelidir. Ters kinematik sayesinde koordinat formatında olan girdilerimiz açı değeri olan çıktılar oluşturur böylece robot istenen koordinata ulaşması için motorların kaçar derece konumlanması gerektiğini hesaplar.

Vücut kinematiği ise robotun gövdesinin üç eksende (roll, pitch, yaw) rotasyon hareketi yapmasını sağlar. Bu temel rotasyon hareketlerinin iki temel faydası vardır. Öncelikle robota tarama açısı kazandırmaktadır. Bunu insanların bakınması gibi düşünebiliriz. Bu sayede bir görevde kullanıcı etrafa bakınabilir, hedefe eğilebilir, yukarısındaki tehlikelere göz

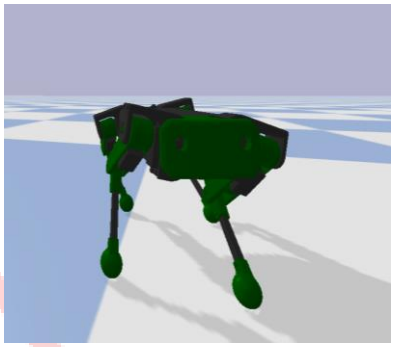
atabilmektedir. İkinci avantajı ise robota stabilite kazandırmasıdır. Robot yürüme halindeyken kısa süreli olarak 2 ayak üzerinde kalmaktadır. Bu da robotun yanlara devrilmesine veya yalpalamasına sebebiyet vermektedir. IMU sensörü sayesinde tespit ettiğimiz hatalar sonucu robot bu eksenlerde gerekli hareketi yaparak dengesini korumakta ve daha stabil bir yürüyüş elde etmektedir.



Şekil 8 *Roll*



Şekil 9 *Pitch rotasyonu*



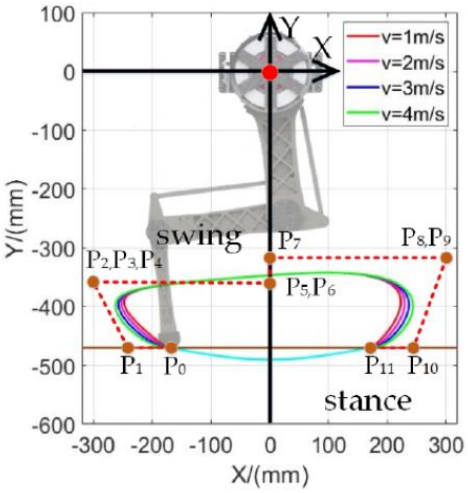
Şekil 10 *Yaw rotasyonu*

2.3.1.2 Joystick verileri

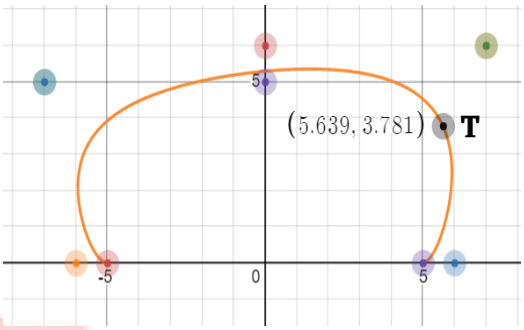
Şekil 11 *Kontrolcü*

Robot gerçekleştireceği hareketler için kullanıcıdan komutlar bekler. Bu komutlar Linux üzerindeki genel girdi olaylarını okumaya ve işlemeye yarayan evdev kütüphanesi aracılığıyla bir bluetooth kablosuz oyun kolundan alınır ve işlenir. Daha sonra bu komutlar gerekli sınıflar gönderilerek girdi kabul edilir ve robot istenilen hareketi gerçekleştirilir. Bir oyun kolu bu tür çok fonksiyonları robotların kontrolü için yeterli elemana sahip değildir. Fakat bu problem, kol üzerindeki butonların mod kabul edilmesi sayesinde aynı elemanların farklı görevler için kullanılmasıyla çözülmüştür.

2.3.1.3 Adım yörüngesi ve Yürüyüş Planlayıcısı



Şekil 12 *11 Noktalı bezier eğrisi*



Şekil 13 *Çizilen 9 noktalık bezier*

Konunun en karmaşık bölümü şüphesiz ki adım yörüngesi oluşturmak ve yürüyüş planlayıcısı geliştirmektir. Uzun araştırma sürecinin ardından adım yörüngesini bezier eğrisi denen parametrik fonksiyonlar ile oluşturmanın en verimli yöntem olduğu kararlaştırılmıştır. Parametrik bir fonksiyon olması sayesinde çekirdek yörünge üzerindeki işlemlere olanak vermesi sayesinde yürüyüşün ortama uyum sağlamasında pratiklik kazandıracağı sonucuna ulaşılmıştır.
MIT üniversitesinin yayınladığı makale**[19]** baz alınarak bir bezier eğrisi üreticisi olan desmos sitesinde**[20]** 11 noktalık bir eğri oluşturulmuştur. Böylece adım yörüngesi belirlenmiştir.

$$\mathbf{B}(t) = \sum_{i=0}^{n} \binom{n}{i} (1-t)^{n-i} t^i \mathbf{P}_i \qquad 0 \leqslant t \leqslant 1$$

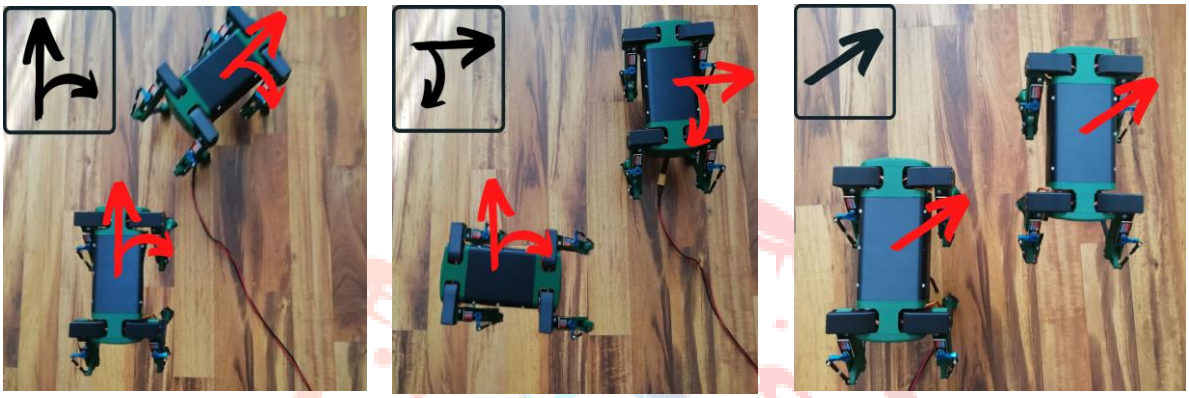
$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}$$

Şekil 14 *N değerine bağlı bezier eğrisi fonksiyonu*

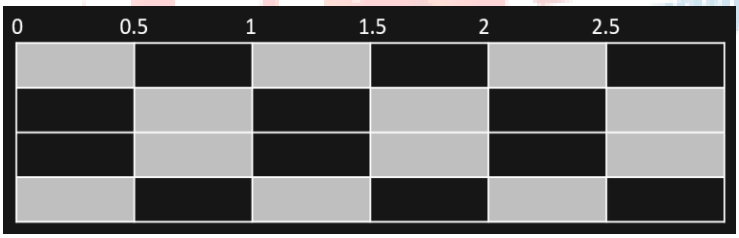
Daha sonra bezier eğrisinin N değerine(nokta sayısı) bağlı fonksiyonu adım planlayıcı geliştirilmesi adına yazılıma geçirilmiştir.

Adım planlayıcımızda öncelikle adım büyüklüğünün kontrolü istenmektedir. Bu sayede robot adımlarının büyüklüğünü değiştirebilecek ve ortama uyum sağlama performansı maksimize edilecektir. t değeri eğrimizin bize sunduğu bir değerdir ve anlık olarak ayağın hangi noktada olduğunu söyler ve bu koordinatlar belirlediğimiz döngü çerçevesinde tanımlanır. Bu noktada T değerinin takip ettiği yol ile çarpılan katsayı sayesinde tanımlanan aralık genişler veya daralır. Bu sayede robotun adım büyüklüğü ayarlanır.(sıfır ile çarpıldığında robot duracaktır)

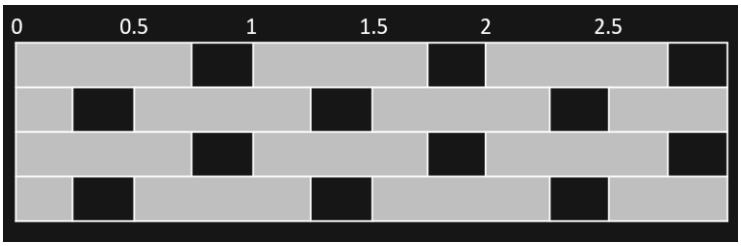
Bu aşamadan sonra iki büyük problem daha karşımıza çıkmaktadır: Yönlendirme ve rotasyon. Robotu yönlendirmek adımları eğmemiz gerekmektedir. Bunun için yapılan trigonometrik hesaplamalar adımların anlık koordinatı ile istenen açı yapıldıktan sonraki adımların geleceği koordinatları hesaplamamızı sağlayan katsayılar vermektedir. Rotasyon hareketinin sağlanması için ise bir çemberde ayakların kestiği noktalardan çizilen teğetlerin açı değerleri programa girildiğinde ise robot kendi ekseni etrafında dönecektir. Bu iki hareketin çeşitli oranlarla beraber uygulanması ile çeşitli yürüyüş şekilleri ortaya çıkmaktadır.



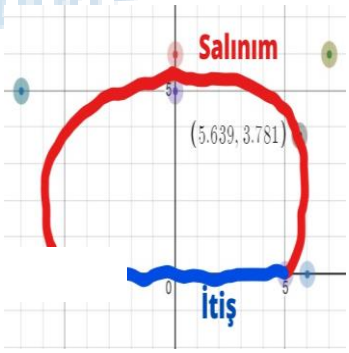
Burada adım planlayıcı her ne kadar oluşsa da daha dengeli bir yürüyüş kazandırmak için üzerine çalışmalar yapılmış ve literatüre bir yenilik kazandırılmıştır. T değeri 0-1 arasında değer alır ve 1 değerinde olduğunda sıfırlanarak artışa devam eder. Her bir adımın salınım ve itiş hareketi bu aralıkta tamamlanır. Yani t değeri 0-0.5 aralığında salınım hareketi yapmakta ve 0.5-1 aralığında ise duruş hareketi yapmaktadır. Burada robotun stabilitesini arttırmaya yönelik dünyada eşi bulunmayan yeni bir yaklaşım getirilmiş ve bu aralık bir oran girdisiyle kontrol edilmiştir. Örneğin klasik yürüyüşlerde bu oran 1/2'dir. Yani itiş hareketi tüm adımın (salınım + itiş) yarısını kaplar bu da salınım ve itiş hareketlerinin eşit sürelerde çalışması ve robotun her daim iki ayak üzerinde kalmasına sebep olur. Fakat eğer bu oranı 3/4 yaparsak salınım süresi duruş süresinin dörtte birine düşecektir böylece robotun iki ayak üzerinde kalma süresi yarı yarıya azalacak ve daha stabil bir yürüyüş elde edilecektir.



Şekil 16 *1/2 oranındaki yürüyüş diyagramı*



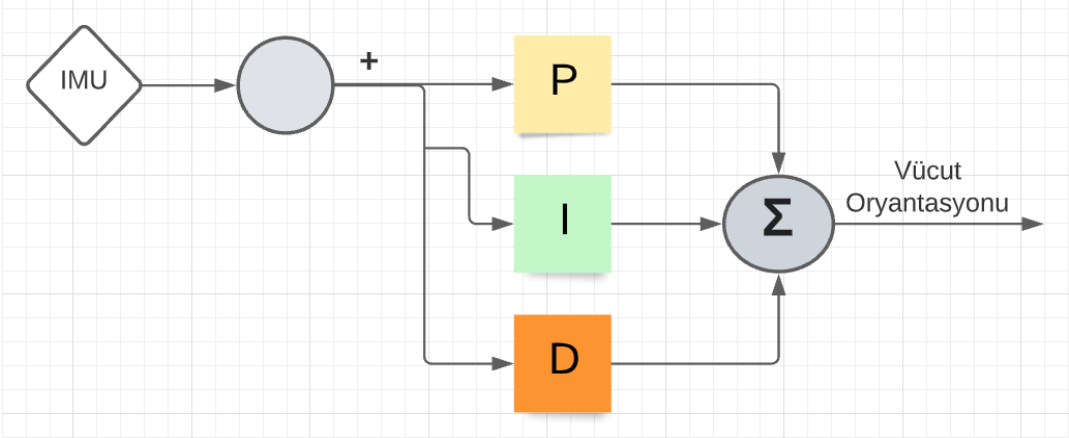
Şekil 17 *3/4 oranındaki yürüyüş diyagramı*



Şekil 15 *Salınım ve itiş*

2.3.1.4 PID

Robotun IMU sensöründen okuduğu değerler ile istenen değerleri karşılaştırması sonucu hesapladığı hata değerlerini telafi etmesi için PID algoritması tercih edilmiştir. Bu algoritma sayesinde oluşturulan geri bildirim robotun çevresel koşullara uyum sağlamasını, daha dengeli bir yürüyüş oluşturmasını sağlar.



Şekil 18 *PID algoritması akış şeması*

PID hesaplamalarını yapmak için simple_pid isimli python kütüphanesi kullanılmıştır. Kolay ve sade kullanımı bu kütüphanenin kullanılmasındaki tercih sebebi olmuştur.

2.3.1.5 Simülasyon

Şekil 19 *Pybullet simülatöründe robotunun URDF*

Robotun yazılımının oldukça karmaşık ve zor olmasından dolayı yazılım geliştirme sürecinde birçok sorun çıkacağı öngörülmüştür. Bu sebeple bu tarz dinamik sistemlerin modellenmesi ve zaman içerisindeki değişiklikler gözlenerek farklı parametrelerin çalışma durumuna etkilerinin araştırılması gerekmektedir. Bu sebeple robot inşa edilmeden önce robot eş zamanlı bir fizik motoru olan Pybullet kütüphanesi kullanılarak simüle edilmiştir. Bunların yanı sıra hem hızlı bir geliştirme süreci olması hem de bu süreçte maddi hasarların minimuma indirilmesi sağlanmıştır. Pybullet kütüphanesinin yer çekimi, sürtünme kuvveti gibi değişken parametreleri gerçek dünya ile eşlenerek geliştirilen yazılımın simülasyon çıktısıyla gerçek dünyadaki davranışları arasındaki farklar minimuma indirilmiştir.

Robot simülasyonu yapılması için robot modellerini bileşenlerine kadar temsil etmeyi sağlayan URDF denen robot modellerine ihtiyaç vardır. Bunun için robotun tasarımının yapıldığı Fusion360 isimli yazılımdaki "fusion2urdf" scripti sayesinde robotun her bir parçası ayrı ayrı URDF formatına dönüştürülmüş ve bu parçalar URDF dilinde birleştirilmiştir.

3. Yöntem

Projemiz öncelikle yoğun bir araştırma sürecinden geçmiştir. Robot dinamiği hakkında internet sitelerinden, makalelerden ve kitaplardan detaylıca bilgi toplanmış ve bacak mekanizmasının kullanımıyla ilgili gerekli araştırmalar yapılmıştır. Böylelikle ihtiyacımız olan kavramlar öğrenilmiştir. Daha sonra yapılacak sistemin davranışının incelenmesi ve farklı parametrelerin çalışma durumuna etkilerinin araştırılması amacı ile simülasyon oluşturulmuştur. Oluşturulan simülasyonda kağıt üzerinde yapılan matematiksel hesaplamalar test edilmiş (Ters kinematik hesaplamaları, bezier eğrisi fonksiyonu) ve en son olarak adım planlayıcı algoritması oluşturulmuştur.

İkinci aşamada ise robot dinamiği ve kabiliyetleri göz önüne alınarak ürün listesi oluşturulmuş ve tedariği sağlanmıştır. Fusion360 isimli 3 boyutlu tasarım yazılımında robotun tasarımı oluşturulmuş ve 3B yazıcıda basılmıştır. Aracın elektronik ve mekanik aksamı birleştirildikten sonra simülasyon üzerinde geliştirilen yazılım fiziksel robota aktarılmış ve testler fiziksel robot üzerinden devam etmiştir.

4. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

- Geliştirilen ekosistem tasarımı sayesinde piyasadaki rakiplerine göre oldukça ucuz maliyetli oluşu
- Projede özellikle geliştirilebilir bir sistem tasarımına odaklanıldığından bu amaç doğrultusunda daha kapsamlı performans vermesi.
- İstenen amaç doğrultusunda istenen ekipman ve cihazların eklenerek geliştirilebilmesi. Örneğin haritalama/keşif görevi için bir lidar, bomba imha gibi askeri amaçlı bir görev için bir robot kol takılıp çıkarılabilir. (multi-fonksiyonel tasarım)
- Maden ocakları, fabrikalar gibi yerlerde sürekli yüksek doğruluk ile yapılması gereken tehlikeli rutin tetkikleri (gaz kaçak kontrolü, basınç kontrolü…) gerçekleştirebilmesi.
- Yazılımın universal olarak geliştirilmesi sayesinde herhangi başka bir robotta sadece bazı parametrelerin değiştirmesiyle kullanılabilir. Örneğin gerektiği takdirde daha büyük ve güçlü bir robota veya daha ufak bir casus robota kolayca adapte edilebilir.
- Yazılımı nesne tabanlı programlama görüşüyle yazılmış ve her bir karmaşık sistem kütüphaneleştirilerek uygulanabilirliği arttırılmıştır.
- Robotun her ortamda kullanılmaya müsait olarak tasarlanması ve IMU geri beslemelerinin sanal yay görevi görmesi sağlayan orijinal yazılıma/algoritmaya sahip olması.
- Tamamen yeni bir yaklaşımla geliştirilen orijinal adım planlayıcı algoritması sayesinde yeni bir dinamik stabilizasyon yöntemi literatüre kazandırmış olması.
- Türkiye'nin ilk ve tek bacak mekanizması kullanılan insansız kara aracı olması.

5. Uygulanabilirlik

Aracımız şu anda AR-GE aşamasındadır ve ilerleyen aşamalarda ticari bir ürüne dönüştürülmesi planlanmaktadır. Kompakt, küçük ve ergonomik tasarımı robotun montajını ve üretimini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca projenin yazılımının sınıflar halinde universal bir anlayışla yazılması birkaç parametre değişimiyle yazılımın farklı prototiplere uygulanabilmesine olanak vermiştir.

6. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Malzeme	Adet	Fiyat(adet)
Raspberry Pi 4 2gb	1	350tl
Pla filament 1kg	1	90tl
Pi kamera	1	48tl
Servo motor	12	370tl
Mpu6050	1	16tl
PS3 oyun kolu	1	120tl
Servo başlıkları	12	60tl
Regülatör	1	12tl
Li-Po pil	1	270tl
Toplam		5360tl

*Satın alınan tarih fiyatlarıdır (Ocak 2021)

	AYLAR									
İşin Tanımı	**Ocak**	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**
Literatür Taraması	X	X	X							
Arazi Çalışması		X	X	X	X	X				
Verilerin Toplanması ve Analizi		X	X	X	X	X				
Proje Raporu Yazımı						X				

7. Hedef Kitle

Projemiz geliştirilebilir sistem tasarımı sayesinde oldukça geniş bir kullanım alanına hitap etmektedir bu sebeple spesifik bir hedef kitle belirtmek aracımızın esas amacıyla çeliştiğinden çok doğru olmayacaktır. Ancak örnek vermek gerekirse uzay görevleri için uzay araştırma enstitüleri, askeri görevler için TSK, rutin tetkik görevleri için tesis personelleri hedef kitleler arasında gösterilebilir.

8. Proje Risk Matrisi

Olasılık/Risk	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**
Düşük	**Robot kamerasındaki görüntü aktarımındaki kopukluk (1)**		
Orta	**Robot ve kontrolcü arasında istenmeyen bağlantı sorunları (2)**	**Robotun mekanik aksamındaki bozukluklar (3)**	
Yüksek		**Bacak ve motor kalibrasyon ayarlarındaki zorluk (4)**	

***(1) Dahili vericiye sahip daha güçlü kamera kullanımı**

***(2) Bu prototipte robotun kontrolü bir Bluetooth kontrolcüyle sağlanmaktadır. Bu nedenle mesafe arttıkça bağlantı sorunları yaşanabilmektedir. Robotun yazılımdaki düzenlemeler sayesinde herhangi bir bağlantı sorununda robot kendisini koruma moduna almaktadır. Fakat yine de bir sonraki prototipte daha güçlü vericiye sahip kontrolcüler tercih edilebilir.**

***(3) Robotun dış mekaniği 3B yazıcıdan basılmış PLA plastik parçalardan oluşmaktadır. Ne yazık ki bu plastik çok sağlam bir malzeme değildir ve dış etkiler sonucu kırılmalar gözlemlenmektedir. Eklemlerin kontrolsüz hareketi sonucu robotun kendini kırmasını önlemek amacıyla motor hareketlerine yazılımsal korumalar getirilmiştir. Fakat yine de daha farklı dış darbeler sonucu parçalarının kırılmasını engellemek amacıyla daha sağlam malzemeler kullanılarak üretim gerçekleştirilebilir.**

***(4) Bacak kalibrasyonu robotun dinamiğini ve dengesini koruyabilmesi açısından yapılması gereken bir aşamadır ve oldukça zorlayıcı olabilir. Bu sebeple robotun ticari bir ürüne dönüştürülmesi durumunda kalibrasyonun nasıl yapılacağına dair detaylı bir kılavuz oluşturulabilir.**

9. Bulgular

Bu projede elde edilen bulgular şu şekilde sıralanabilir:

- Bacak mekanizmasının adım büyüklüğü, adım açısı, vücut kinematiğinin ağırlık merkezini konumlandırabilmeye elverişi gibi kazanımları sayesinde bir süspansiyon mekanizmasından daha fazlası olduğu ve bacak mekanizmalarının bu sebeplerden ötürü en verimli mekanizma olduğu kanıtlanmıştır.
- Robotun üzerindeki motorların konumlandırılmasının (ataletin azaltılması, ağırlık merkezinin dengelenmesi gibi) robotun dinamiğini ve dengesini doğrudan etkilediği gözlenmiştir.
- Doğru kullanıldığında hobi amaçlı kullanılan ucuz hobi servo motorlarının neredeyse dünyadaki şirketler tarafından geliştirilen ayaklı robotlarla yarışabilecek nitelikte performans gösterebileceği kanıtlanmıştır.
- Bölümler halinde kompakt bir yapıda tasarlanması robotun kapasitesinin geliştirilebilirliği açısından oldukça önem arz ettiği bulgusuna ulaşılmıştır.
- Tasarlanan ekosistemin robotun geliştirilebilirliği, kullanım alanları ve düşük maliyeti açısından oldukça verimli olduğu ispat edilmiş, literatürde böyle bir atılıma ihtiyaç olduğu kanıtlanmıştır.
- Bu proje birden fazla programlama dilinin, çeşitli kütüphanelerin, çeşitli kontrolcülerin sıra dışı bir yöntemle birlikte kullanılması; robotta farklı uygulamaların beraber kullanılabilmesini sağlamış ve mühendislikte çözümlere ancak farklı noktaları birleştirilerek ulaşılabileceğini kanıtlamıştır.

10. Sonuç ve Tartışma

Sonuç olarak özgün yöntemlerle orijinal bir yazılıma sahip, kendisine verilen görevleri büyük hassaslıkla yerine getirebilecek esnekliğe ve dinamiğe sahip geliştirilebilir bir insansız kara aracı geliştirilmiştir. Kullanılan bacak mekanizması her yönde esnek bir hareket kabiliyeti kazandırmış ve çevreye uyum sağlama konusunda biyonik bir süspansiyon görevi görmüştür. Robotun kendini dengeleyebilecek dinamiğe sahip olması üzerine eklenecek donanımların robotun dengesinde herhangi bir bozulma meydana getirmemesini sağlamış ve robotun farklı noktalarına ağırlıklar yerleştirilerek test edilmiştir. Böylece sayısız göreve hizmet edebilecek potansiyele sahip; yazılım, tasarım ve üretim açısından yerli ve milli Türkiye'nin ilk ayaklı insansız kara aracı geliştirilmiştir.

11. KAYNAKÇA

[1]. Akdeniz, E. (2018). erişim tarihi: 16.04.2022, https://surveyinggroup.com/lidar-nedir-nasil-calisir/

[2]. Samancı, B. (2011). Erişim tarihi: 04.04.2022, http://www.barissamanci.net/Makale/26/accelerometer-gyroscope-imu-nedir/

[3]. Erişim tarihi: 08.04.2022, https://pypi.org/project/simple-pid/

[4]. Erişim tarihi: 08.04.2022, https://python-evdev.readthedocs.io/en/latest/

[5]. Şeker, Ş. (2009). Erişim tarihi: 08.02.2022, https://bilgisayarkavramlari.com/2009/10/31/bezier-egrileri-bezier-curves/

[6]. Erişim tarihi: 16.04.2022, https://pybullet.org/wordpress/

[7]. Erişim tarihi: 16.04.2022, https://tr.wikipedia.org/wiki/PID

[8]. Gümüş, F. (2017). Erişim tarihi:16.04.2022, https://www.muhendisbeyinler.net/ters-kinematik-nedir/

[9]. Erişim tarihi: 14.04.2022, https://www.raspberrypi.org/

[10]. Erişim tarihi: 14.04.2022, https://www.python.org/

[11]. Erişim tarihi: 06.04.2022, https://www.botem.com.tr/servo-motor-nedir

[12]. Öksüz, M. (2015). Python Virtual Environment, Erişim Tarihi: 14.04.2022, https://yazilimportal.com/python-virtual-environment-8d50f5bae0d7

[13]. Spot at kidd creek mine, Erişim tarihi: 14.04.2022, https://www.youtube.com/watch?v=bLTLaZJTsBk&t=53s

[14]. Erişim tarihi: 10.04.2022, https://www.mynet.com/abd-dugmeye-basti-sinirda-gorevlendirecekler-110106911095

[15]. Erişim tarihi: 10.04.2022, https://www.log.com.tr/cok-uygun-fiyatiyla-ses-getiren-robot-kopek-unitree-go1-ile-tanisin-video/

[16]. Erişim tarihi: 10.04.2022, https://www.youtube.com/watch?v=xNeZWP5Mx9s

[17]. Erişim tarihi: 06.04.2022, https://www.youtube.com/watch?v=_rPvKlvyw2w

[18]. Erişim Tarihi: 06.04.2022, https://mars.nasa.gov/mars2020/

[19]. Leg Trajectory Planning for Quadruped Robots with High-Speed Trot Gait, Erişim Tarihi: 10.02.2022, https://www.researchgate.net/publication/332374021_Leg_Trajectory_Planning_for_Quadruped_Robots_with_High-Speed_Trot_Gait

[20]. Erişim tarihi: 06.04.2022, https://en.wikipedia.org/wiki/Desmos_(graphing)