

AIBO Robotu Üzerinde

Hızlı Hareket Tiplerinin Geliştirilmesi*

Levent Santemiz¹, İlkem Ahu Şahin², Burak Turhan² ve H. Levent Akın²
¹Sistem ve Kontrol Mühendisliği Anabilim Dalı, Boğaziçi Üniversitesi, 80815, Bebek, İstanbul
²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi, 80815, Bebek, İstanbul

Özet

Robocup, hareketli robotlar üzerindeki araştırmalara bir uygulama alanı sağlayan bir yarışmadır. Bu yarışmada yer alan kategorilerden biri de Sony AIBO ERS-210 tipi robotlarla yapılan dört ayaklı robotlar yarışmasıdır. Bu çalışmada Boğaziçi Üniversitesi adına yarışacak robot takımı için hızlı hareket tipleri geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yarışmada kullanılacak iki adet yürüme ve dört adet dönme hareketi ve bunların arasındaki geçişleri sağlayan hareketler geliştirilmiştir.

1. GİRİŞ

RoboCup yarışması hareketli robotlar üzerindeki araştırmalara bir uygulama alanı sağlamayı amaçlamaktadır (Robocup, 2002).

Bu çalışmada Robocup Sony Ayaklı robot kategorisinde yarışacak Cerberus takımının Aibo [Sony, 2001] tipi robotları için hızlı hareket tipleri geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Dört ayaklı robotlar için hareket geliştirilmesi zor bir problemdir. [Bien, Chun ve Son 1991, Chen et al 1999, Hornby et al 2000, Marhefka ve Orin, 2000, Papadopoulos ve Buehler 2000, Kimura, Shimoyama ve Miura, 2001]. Futbol karşılaşması sırasında ise robotların hızlı, dengeli görme ve yer bulma gibi işlevleri kolaylaştıracak etkin hareketleri yapabilmesi gereklidir.

Aşağıdaki bölümlerde Robocup yarışmasının yapısı, bu yapı dahilinde kullanılan AIBO robotun yapısal özellikleri, robotun üzerinde geliştirilen hareket türleri ve bu türlerin elde edilmesinde kullanılan algoritmalar sunulmuştur.

2. ROBOCUP

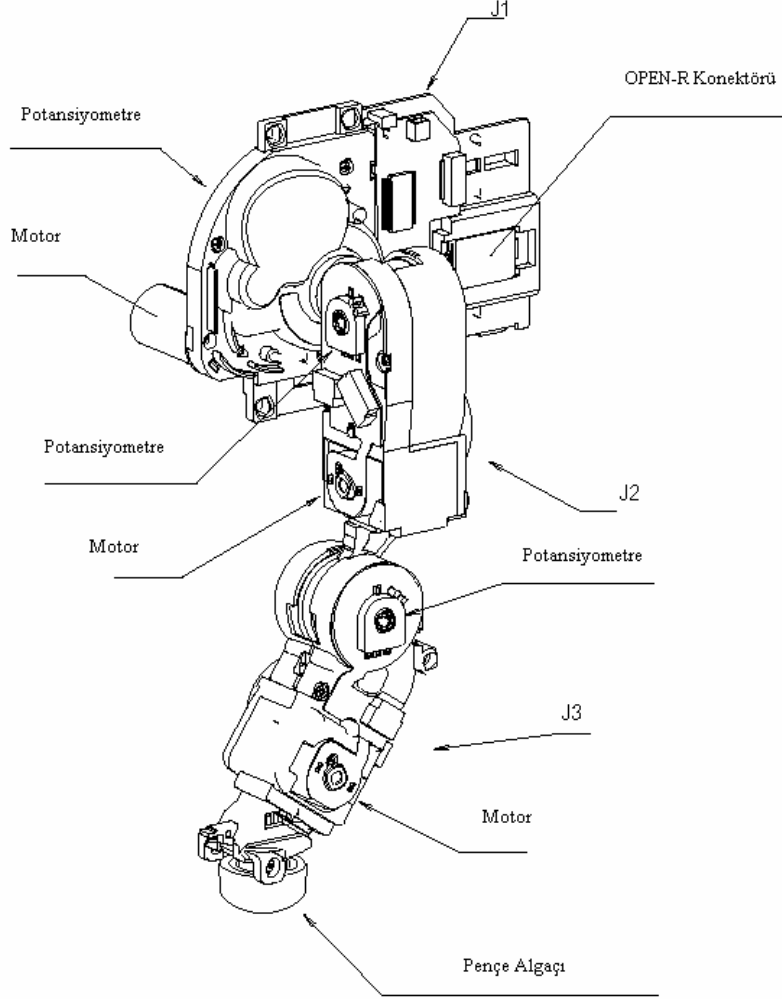
Robocup, dünyada gelişmiş hareketli robot türlerinin üstünde çalışan araştırmacılar için düşünülmüş bir yarışma ortamıdır. Yarışmada eş türden robotlar ligler halinde birbirleriyle bir futbol turnuvasında karşılaşmalar yapmaktadır. Futbolun ortam olarak seçilmesinin nedeni olası olduğu kadar gerçek dünya ile koşutluk elde etmek, tüm dinamik etkenlere maruz kalarak (sürtünme, aydınlatma vs.) bir takım oyununun oynanmasını sağlamak ve yazılım ve donanım açısından yapay zeka uygulamalarının geliştirilmesini teşvik etmektir.

* Bu çalışma kısmen Boğaziçi Üniversitesi Araştırma Fonu 01A101 numaralı projesi, Sony Eurasia ve Metro AG Holding tarafından desteklenmiştir.

Üniversitemiz RoboCup turnuvalarının bir bölümü olan dört ayaklı robot kategorisinde Bulgaristan Sofya Teknik Üniversitesi ile birlikte 2001 yılından beri ortak olarak yarışmaktadır.

3. AIBO ROBOTU

AIBO ERS-210 Sony tarafından geliştirilmiş evcil köpek biçiminde ticari bir hareketli robot türüdür. Üzerinde renkli bir video kamerası, kızılötesi algaç, dokunma algaçları, akseleretreleri ve ısıya duyarlı algaç bulunmaktadır. Hareket donanımı olarak dört bacağı ve 18 eklemi vardır. Her bacak biri dizde ve diğer ikisi omuz bölgesinde olmak üzere 3 eklem ile hareketi sağlamaktadır. Her eklemden hareketleri sağlayan bir servomotor, bir PID denetleyicisi bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. AIBO'nun ayağı. (Sony 2002)

AIBO'nun 64 bitlik bir RISC işlemcisi ve 32MB belleği bulunmaktadır. Sony tarafından geliştirilen Aperios adlı nesneye dayalı bir işletim sistemi vardır. Robot üzerindeki yazılımlar, OPEN-R adı verilen robotu denetlemek için geliştirilmiş bir yazılım platformu kullanılarak C++ dilinde Windows ortamında geliştirilmekte ve çapraz derleyicide derlenerek bir bellek ünitesi sayesinde robota yüklenmektedir.

4. GELİŞTİRİLEN HAREKETLER VE DEĞERLENDİRME

Robot üzerindeki çalışmalarımız ilk olarak düzgün bir yürüme şekli amaçlanarak başlamıştır. Oyun sırasında robotun hedef olan topu yeteri derecede iyi ve düzgün görebilmesi, hareket sırasında bu görüntüyü mümkün olduğunca kaybetmemesi gerekmektedir. Hedef aramada veya değişik yönlere yönelim sırasında kullanılacak olan dönüş tipleri daha sonra bu yürümeden esinlenilerek geliştirilmiştir.

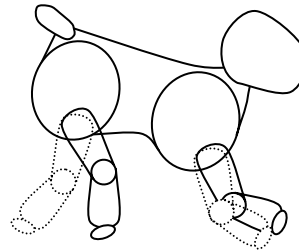
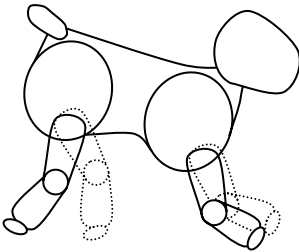
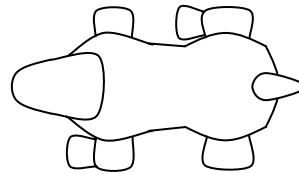
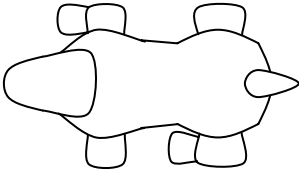
Robot ile birlikte bize sağlanan platformda öngörülen bazı yürüme ve dönme şekilleri mevcuttur. Ancak bu hareketler yarışma için istenilen hız ve doğrulukta değildir. İlk olarak denetleme yapısındaki en alt seviye olan bölgede hareketlerimizi geliştirmeye çalıştık. Bu seviyede robotun eklemlerine istenilen açıları vererek eklemlerin tam olarak nasıl hareket etmesi gerektiğini inceledik. İnceleme sırasında karşımıza çıkan en büyük zorluk geliştirdiğimiz hareketlerde robotun kolayca dengesini kaybetmesi oldu. İnsan üzerinde düşünülen hareketlerin insanın özerk bir şekilde dengesini sağlaması ve köpeğin böyle bir yapıya sahip olmaması nedeniyle köpeğe uygulanamadığını gördük.

Hareketlerin geliştirilmesinde önce PID değerlerinin hassasiyetleri belirlenmiştir. PID değerlerinin değiştirilerek köpeğin bacak açılarına erişme değerlerindeki esneklik deneysel olarak saptanmıştır. Uygun P, I ve D parametre değerleri ayarlandıktan sonra hareketlerin geliştirilmesine devam edilmiştir.

4.1. Yürüme Hareketleri

Yürüme hareketleri geliştirilirken aşağıdaki gereksinimlerin sağlanması amaçlanmıştır:

- Yürüme şeklinin rakiplerimizden hızlı olması,
- Kafadan alınan görüntünün sabit ve düzgün olması için de mümkün olduğunca dengeli olması,
- Yürüme sırasında ayakların kaymaması, mümkün olan en kuvvetli biçimde robotun yere basması



Adım 1

Adım 2

Şekil 2. Yürüme hareketi

Robotun yere yakın hareket etmesi, hem görüş açısını sahaya yönelttiği için hem de vücudun atalet merkezini yere yakınlaştırarak dengeyi arttırması nedeniyle tercih edilmiştir. İki tip yürüme şekli geliştirilmiştir (Şekil 2).

Her iki tipte de asıl yük arka ayaklar üzerinde olup ön ayaklar dengeyi sağlamak için kullanılmıştır. Yürüme şekillerinin, çapraz ayakların aynı anda adım atması sayesinde hem hızlı hem de dengeli olmaları sağlanmıştır.

İlk tipin ikincisinden farkı hız ve dengedir. Büyük adım atması nedeniyle daha hızlı ancak ikincisine göre atalet merkezinin yerden biraz daha yüksek olması nedeniyle daha az dengelidir. Ancak dengelilik denemelerinde robot için tatminkar sonuçlar vermiştir. Bu şekilde kafa yer hizasından ikinci tipe göre yaklaşık 1 cm daha yüksekte tutulmuştur.

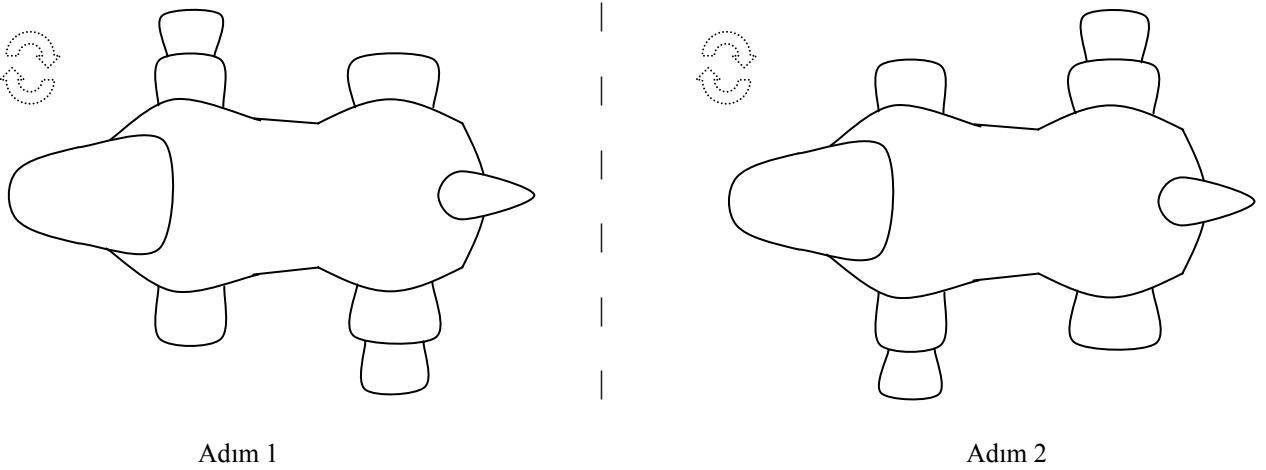
İkinci tip ise atalet merkezi yönünden yere daha yakındır. Kafa düzeyi bu nedenle ilk tipten daha aşağıda yer almıştır. Yere yakınlık ilk duruma göre daha dengeli sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Ayrıca yine dengenin iyileştirilmesi için adım aralıkları ilk duruma göre daha küçük tutulmuş böylece yürüme uzun mesafede daha düzgün sonuçlar vermiştir.

4.2. Dönüş Hareketleri

Yürüme şekillerinin geliştirilmesinin ardından dönüş şekilleri ikinci amaç olarak seçilmiştir. Dönüşler vücudun en dengesiz olduğu hareket şeklidir. Yapılan incelemelerde dört bacağın birden dengeyi sağlamak açısından eş derecede önemi olduğu görülmüştür.

Dört tip dönüş şekli geliştirilmiştir. İlk iki tip çapraz ayakların kullanılması ve diğer iki ayağın da dengeyi sağlaması ile dönüşü sağlamakta (Şekil 3 ve Şekil 4), üçüncü tip dönüş ise bir taraftaki iki ayağın kenarlara açılarak zıt yöne doğru vücudu itmesi sonucu oluşmaktadır (Şekil 5).

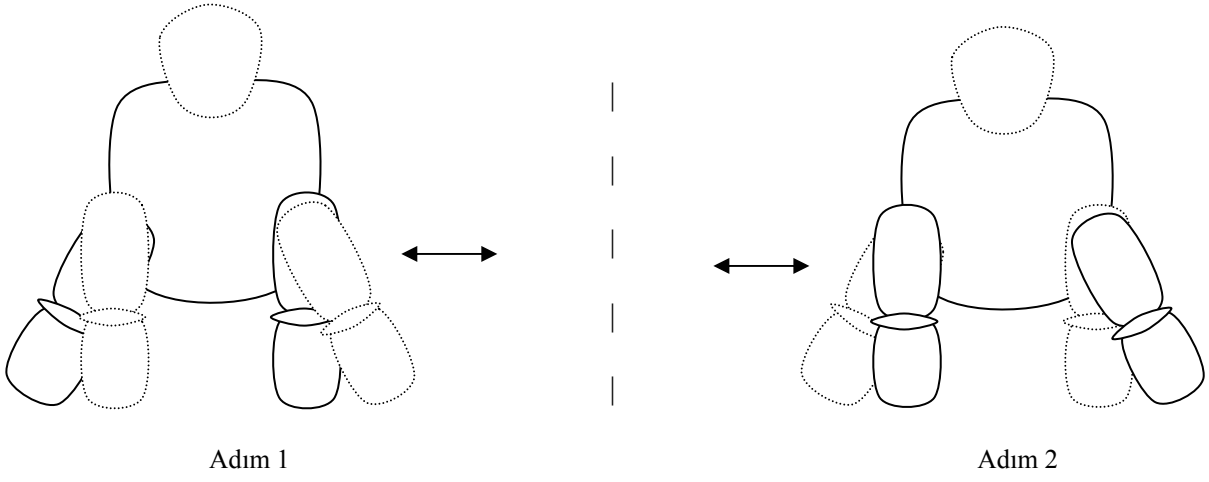
Geliştirilen bu ilk üç tip dönüş, sağ veya sol yönde belirli bir merkeze olan sabit bir uzaklıkla dairesel olarak dış bükey bir dönüş sağlamaktadır.



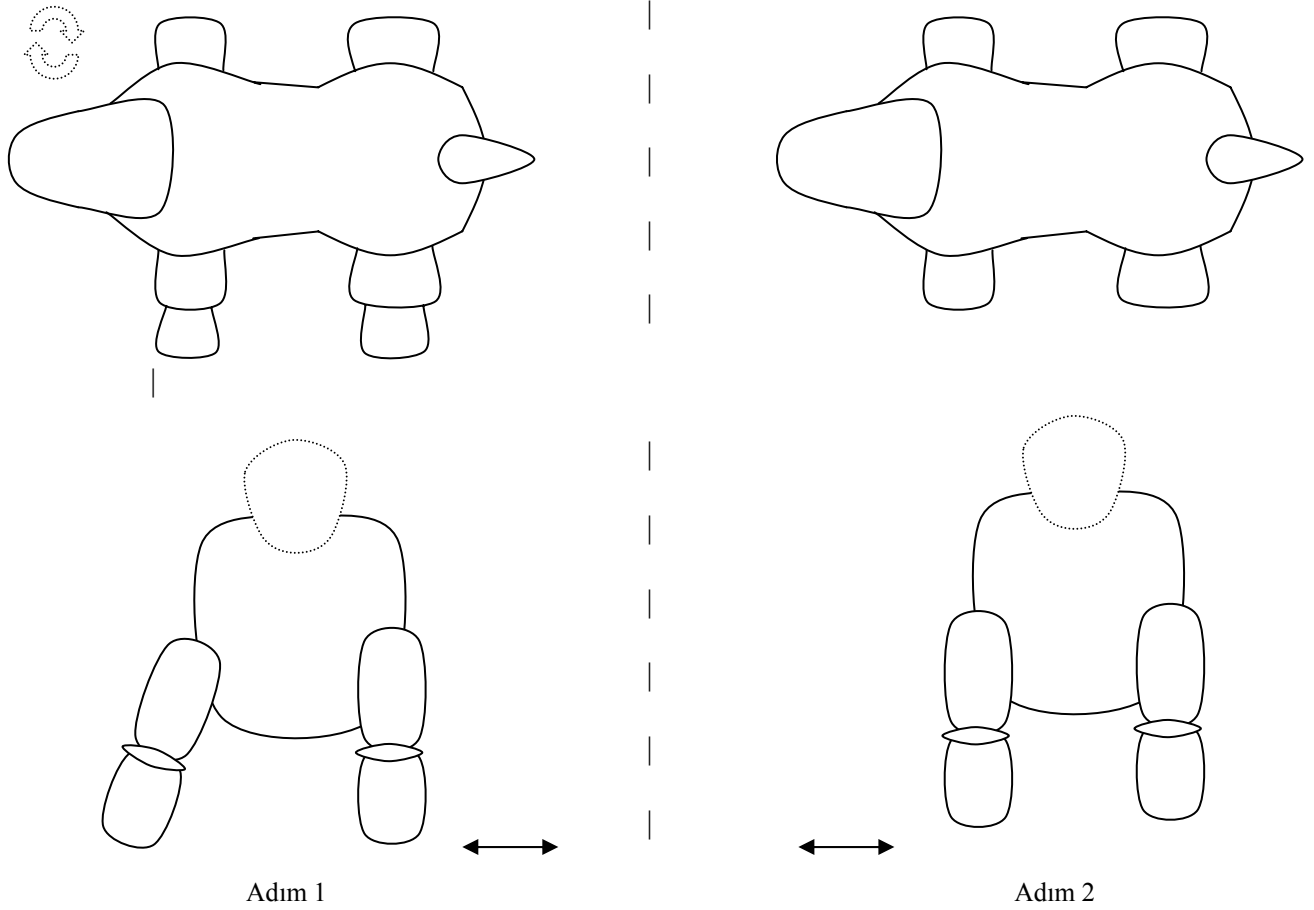
Şekil 3. İlk İki Tip Dönüş Hareketi (Kuşbakışı Görünüm)

Geliştirilen dördüncü ve en son tip dönüş ilk üç dönüşün tersine sağ veya sol yönde belirli bir merkeze olan sabit bir uzaklıkla dairesel olarak iç bükey bir dönüş sağlamaktadır (Şekil 6). Bu hareket yerinde dönüş hareketi gerektiren, örneğin oyun sırasında top etrafında pozisyon almak gereksinimi duyulduğunda kullanılması amacıyla geliştirilmiştir. Bu dönüş tipinde çapraz ayakların vücudu zıt yönlere doğru itmeleri ve aynı zamanda ortanca eklemleri kullanarak vücudun atalet

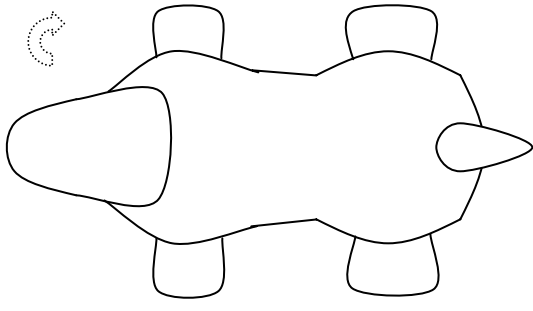
merkezinin yerden yüksekliğini değiştirerek kayma sağlanması uygulanarak ortaya çıkmıştır. Vücut arkadan bakıldığında kaba bir elips oluşturacak şekilde hareket etmektedir (şekil 7 ve şekil 8).



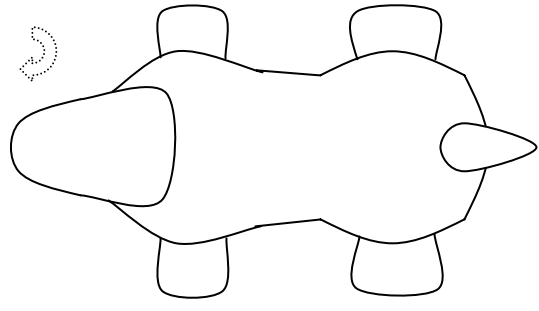
şekil 4. İlk İki Tip Dönüş Hareketi (Arkadan Görünüm)



şekil 5. Üçüncü Tip Dönüş Hareketi

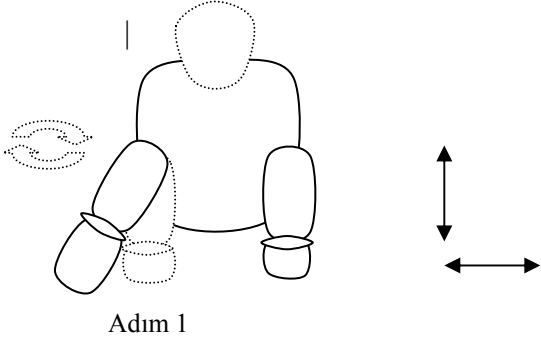


Dış Bükey

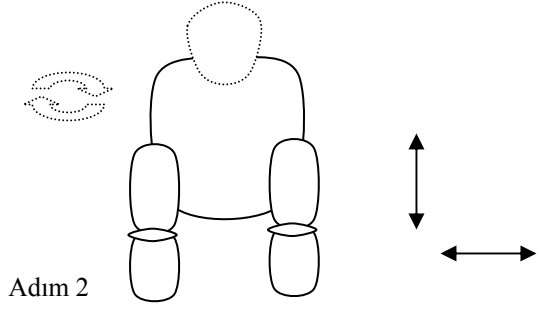


İç Bükey

Şekil 6. İç ve Dış Bükey Dönüş Şekilleri

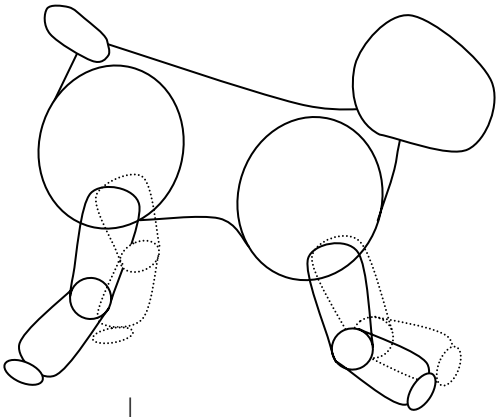


Adım 1

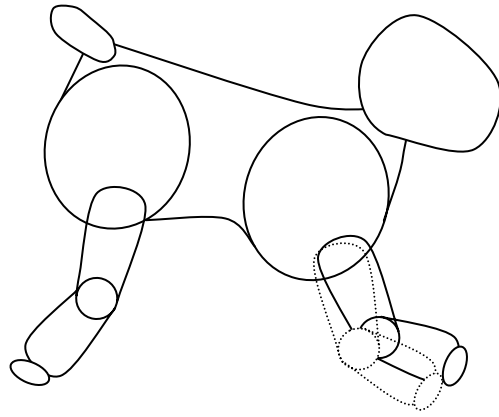


Adım 2

Şekil 7. Eliptik Vücut Hareketi



Adım 1



Adım 2

Şekil 8. Dördüncü Tip Dönüş Hareketi

İlk iki tip dönüş hız açısından birbirlerinden farklıdır. Hız farklılığı adımların boylarının değişimi ile elde edilmiştir. Üçüncü tip dönüş hem denge hem de hız açısından ilk ikisine göre daha tatminkardır. Dönüş için ikinci tip dönüş kullanılmak üzere seçilmiştir.

Yapılan denemelerde dönüş ve düz yürüme stillerinin birbirleri arasındaki geçiş de sorunsuz sonuç vermiştir. Bu tür geçişlerde ortaya çıkan yön kaybı ve dengenin bozulması gibi sorunlar giderilmiştir. Ayrıca hareketler arası geçişler yeteri derecede hızlı sonuç vermiştir.

5. GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYON

Yukarıda anlatılan tüm yürüme şekillerinin ve dönüşlerin geliştirilmesi sıralı denemeler yaparak başarılmıştır. Bu proje dahilinde elde edilen hareketlerin optimizasyonu için robot üzerinde genetik algoritma [Beasley, Bull ve Martin 1993] kullanarak çalışacak bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım test ortamının ve robotun modüllerinin eksiksiz olarak çalışmasını gerektirmektedir.

Genetik algoritma ile yapılacak çalışmalar, özel ışıklandırma koşulları altında kapalı bir ortamda yapılacaktır. Ortamın yan yüzeyi üzerinde sabitlenen bir parça renkli bez robotun ulaşması gereken hedef olarak belirlenmiştir. Genetik algoritmada kullanılan uygunluk fonksiyonu, robotun yaptığı hareket sonucunda söz konusu hedeften kaç derece saptığı, hedefe olan uzaklığı ve denge kaybı yüzünden yere düşüp düşmemesini ölçen bileşenlerden oluşmaktadır. Her hareketin oluşturulmasında kullanılan parametreler, başlangıç durumunda robotun hedefe olan uzaklığı, hareketi gerçekleştirdikten sonra robotun hedefe olan uzaklığı, robotun hedeften yatay olarak sapma açısı olarak belirlenmişlerdir. Söz konusu parametrelerin aracılığı ile, belirli sabit bir süre içerisinde robotun belirlenen hareket ile aldığı yol, hareket sırasında ulaştığı hız ve hareketin yönü hesaplanmakta, matematiksel işlemlerden geçirilerek başarı düzeyi bulunmaktadır.

Hareketler bir açı türetici fonksiyon sayesinde oluşturulmakta ve hareket modülü sayesinde eklemlere söz konusu türetilen açılar atanmaktadır. Bu fonksiyon her eklem için fiziksel sınırları içerisinde açı türetebilmek amacıyla oluşturulmuştur. Örneğin, üst bacak eklemi için fiziksel açı aralığı $-140, 140$ olarak belirlenmiştir. Çalışma aralığını söz konusu eklem için bu aralık olarak belirlemek denemelerin süresini çok uzatmakta ve doğru gözlem yapılabilmesini çok zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla kendi çalışmalarımız sırasında edindiğimiz tecrübelerden de yararlanarak yine yukarıda verilen örnek için $-140, 140$ açı aralığı $-20, 20$ olarak kısıtlanmıştır. Hareket sırasında kullanılan 12 eklem için bu kısıtlama ayrı ayrı uygulanmaktadır.

Oluşturulan her yeni hareket tekrar denemekte, deneme sonucu elde edilen tüm hareketlerin en iyi 10 tanesi bir küme oluşturacak şekilde gruplanmaktadır. Küme sürekli olarak en iyi iki üyesini genetik algoritma yöntemiyle üreme fonksiyonunu kullanarak birleştirmektedir. Sistem, oluşan yeni üyeleri tekrar denemekte ve başarı seviyelerinin küme düzeyine uygun olması haline göre kümeye dahil etmektedir. Eğer oluşan yeni üyelerin başarı seviyeleri kümeye göre düşük seviyede ise o zaman yeni üyeler yok edilmekte ve mutasyon fonksiyonu aracılığıyla küme üyelerinden bağımsız yeni bir üye yaratılmaktadır. Her yaratılan üye gibi mutasyon sonucu ortaya çıkan üyeler de denemeye tabi tutulmakta ve seviyelerine göre kümeye katılmakta veya yok edilmektedirler. Yeni üyenin kümeye eklenmesi durumunda, küme içerisindeki başarı seviyesi en düşük üye kümeden silinmekte ve yerine yeni üye alınmaktadır. Bu sayede küme popülasyonu hep sabit tutulmaktadır.

Tüm genetik algoritma işlemleri, başarı seviyesi ölçümü ve belirlenmesi, yeni üyelerin yaratılması ve kümeye atanması gibi işlemler, yürüme modülü içerisinde gerçekleştirilmektedir. Diğer modüller bu ölçüm işlemi için gereken değerleri bu modüle aktarmakta ve yürüme modülü gereken hesaplamaları yaparak planlama modülünün de yardımıyla hareket kümesini oluşturmaktadır.

Yazılımın robotun ortamına aktarılmasının ardından denemeler başlayacaktır. Sanal ortamda yapılan yazılım testleri şu ana kadar yazılımın sorunsuz çalıştığı sonucunu vermişlerdir. Gerçek robot üzerindeki denemelerin bu testlerle paralellik taşıması beklenmektedir.

6. SONUÇ

Robot üzerinde yapılan denemeler ve gözlemler sonucunda iki adet düz yürüme şekli ve dört adet dönüş şekli geliştirilmiştir. Hem yürümler hem de dönüşler diğer modüllerin de olası isteklerine göre farklı özelliklere sahiptir. Ancak şu ana kadar gerçekleştirilen tüm hareket şekilleri yeterli derecede tatmin edici sonuçlar vermiştir. İkinci aşamada hareketleri optimize etmek amacıyla kullanılmak üzere robot üzerinde çalışacak genetik algoritma kullanan bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım test ortamının ve robotun modüllerinin eksiksiz olarak çalışmasını gerektirmektedir. Genetik algoritma ile iyileştirme çalışmalarına yazılımın robot işletim sistemine aktarılmasının ardından başlanacaktır.

Kaynakça

- [1] Beasley, D., Bull, D.R., ve Martin, R.R. "An Overview of Genetic Algorithms: Part 1, Fundamentals", *University Computing*, Cilt.15, No.2, s.58-69, 1993.
- [2] Bien, Z., M. G. Chun ve H. S. Son. "An Optimal Turning Gait for a Quadruped Walking Robot" *IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems IROS '91*, Nov. .3-5, 1991.
- [3] Chen, X., K. Watanabe, K. Kiguchi ve K. Izumi, "Optimal Force Distribution for the Legs of a Quadruped Robot", *Machine Intelligence and Robotic Control*, C. 1, No. 2, s.87-94 1999.
- [4] Hawker, G. ve M. Buehler, "Quadruped Trotting with Passive Knees – Design, Control, Experiments", *IEEE International Conference on Robotics and Automation Bildiri Kitabı*. s. 3046-3052. 2000
- [5] Hornby, G. S., Fujita, M., Takamura, S., Yamamoto, T.ve Hanagata, O. "Evolving Robust Gaits with AIBO", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. s. 3040-3045. 2000.
- [6] Kimura H., Shimoyama I. ve Miura H. "Dynamics in the dynamic walk of a quadruped robot", *University of Tohoku*, 1998. Report 2001.
- [7] Marhefka, D. W. ve D. E. Orin. "Fuzzy Control of Quadrupedal Running", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. s. 3063-3071. 2000
- [8] Papadopoulos ve D., M. Buehler, "Stable Running in a Quadruped Robot with Compliant Legs", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. s. 444-450. 2000.
- [9] Robocup 2002, <http://www.robocup2002.org>
- [10] Sony , <http://www.aibo.com>, 2001.
- [11] Sony, OPEN-R SDK, "Model Information for ERS-210", 2002.