

ZEKİ DENETİM UYGULAMALARINDA KULLANILMAK ÜZERE HAREKETLİ ROBOT GELİŞTİRİLMESİ*

Elif Albuz¹, Ertürk Kocalar¹, H. Levent Akın² ve Okyay Kaynak¹

¹Boğaziçi Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 80815-Bebek, İstanbul

²Boğaziçi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 80815-Bebek, İstanbul

Özet. Bu çalışmada zeki denetim uygulamalarında kullanılmak üzere ucuz ve kolayca bulunan parçalardan yapılmış hareketli bir robot geliştirilmesi amaçlanmıştır. *RoadRunner* adı verilen robotun gövdesi Lego parçalardan yapılmıştır. Robotun hareketi bir doğru akım motoruyla sağlanmaktadır. Yönlendirmede ise adım motoruyla sürülen bir direksiyon sistemi kullanılmaktadır. Uzak ve yakın mesafe ölçümleri için sırasıyla sesüstü ve kızılötesi duyargaçlar kullanılmıştır. Bu özerk robot pek çok uygulama için uygundur. Endüstriyel uygulamaların yanısıra deneysel amaçlı olarak kullanılabilir özelliklerle donatılmıştır.

1. Giriş

Robotlar, monoton ve karmaşık işleri hatasız gerçekleştirebildikleri gibi, insanların bulunamayacağı ortamlarda da çalışabilirler. Robotların kullanım alanlarını genişletmek için ilk adım, önceden hazırlanmamış ortamlarda bile çok az bir ön bilgiyle karar verebilecek özerk robotların geliştirilmesidir.

MIT'deki Lego parçalardan robot yapmayı amaçlayan 6.270 dersi[1] bu çalışmanın[2] başlangıç fikrini oluşturmuştur. Bu derste öğrenciler Lego parçalar, motorlar ve duyargaçlar kullanarak robot yapmakta ve sonra bu robot için C'nin küçük bir versiyonu olan Interactive C'de yordam geliştirmektedirler.

Bu çalışmada zeki denetim uygulamalarında kullanılmak üzere ucuz ve kolayca bulunan parçalardan yapılmış hareketli bir robot geliştirilmesi amaçlanmıştır. *RoadRunner* adı verilen robotun gövdesi Lego parçalardan yapılmıştır.

2. Robotun Tasarımı

Lego robotun tasarımı aşağıdaki aşamaları içermektedir:

1. Donanım

a) Mekanik donanım

- Lego parçalar ve dişliler
- Arabayı sürmek için doğru akım motoru
- Yönlendirmek için adım motor
- Sesüstü radar için adım motor

b) Elektronik donanım

- Handy-Board
- Şarj/arayüz devresi
- Genişleme devresi

* Bu çalışma *Mekatronik Uygulama ve Araştırma Merkezi* tarafından ve *Boğaziçi Üniversitesi Araştırma Fonu 95A0124* numaralı proje ile desteklenmiştir.

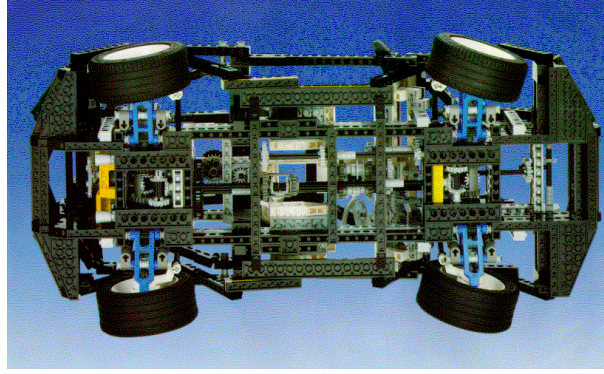
- Motor sürme ve batarya şarj devresi
- Sesüstü devre
- Kızılötesi TX/RX birimler
- Diğer duyargaçlar, optik kodlayıcı, dokunmatik duyargaçlar

2. Yazılım

- Adım motor denetimi
- DC motor denetimi
- Sesüstü radar denetimi
- Kızılötesi birimlerin denetimi
- Önceden hazırlanmamış ortamda yol saptama

2.1 Mekanik Donanım:

Arabanın denetiminde önemli girdilerden biri de konumdur. Bu çalışmada konumun ölçümle belirlenmesi planlanmıştır. Ölçümlerin hassasiyetinde arabanın kinematik modellemesinin çok önemli bir etkidir. Bu yüzden kinematik tasarımın algılamaların denenmesinden önce yapılması gerekmektedir.



Şekil 1. Lego robotun alttan görünümü.

RoadRunner'da kullanılmak üzere seçilen direksiyon sistemi Şekil 1'de görüldüğü gibi özel üretim arabalarda kullanılan arka çift ve ön çift tekerleklerin zıt yönde dönerek, dönme alanını küçültmesine dayanan bir yöntemdir. Bu konfigürasyon robotun manevra yeteneğini oldukça artırırken aynı zamanda sistemin karmaşıklığını da arttırmaktadır. Aynı sistemi kullanan özerk robotlara Amerikan donanmasında rastlanmaktadır[3].



Şekil 2. RoadRunner'in önden görünüşü.

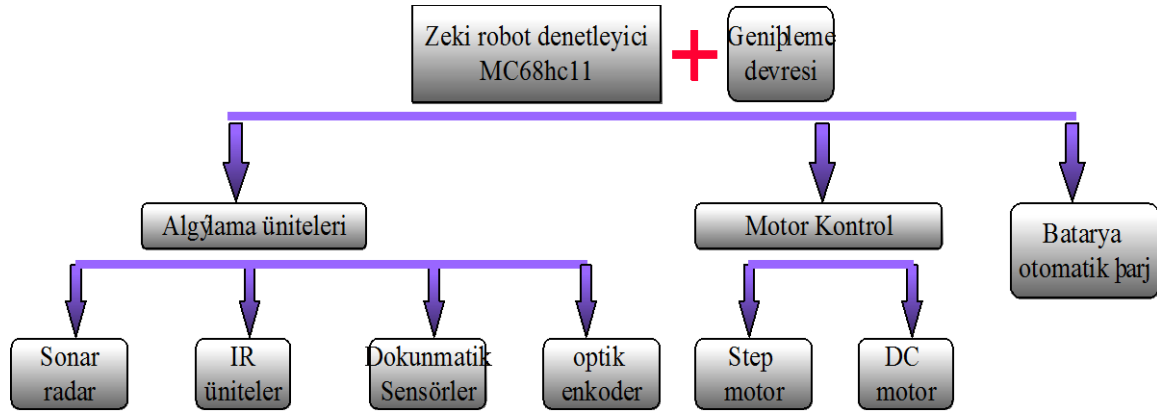
Özerk arabanın mekanik kısımları Lego parçalardan oluşmaktadır. Bunun için Lego Teknik serisinin en gelişmiş modellerinden biri olan 8880 araba kiti kullanılmıştır. Bu modelde çeşitli boylarda 70 kadar dişli vardır. Arabanın iç yapısı ve dişliler, uygulama sırasında pek çok kez değiştiğinden parçaların takılıp çıkarılabilir olması büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak Lego parçalar kullanmanın getirdiği¹ güçlükler de küçümsenemeyecek kadar çoktur.

Robotun hareketi için kullanılan doğru akım motoru -1/32 dişli oranı ile- tekerleklerle bağlanmıştır. Kullanılan motor 12V besleme ile yüksüz dakikada 18000 tur, yükte ise 16000 tur döner. Ancak bu motor başlangıç hareketi sırasında eylemsizlik momentini yenmek için 4A'e varabilen akım çekmektedir. Bundan dolayı planlanandan daha büyük ve daha ağır bir batarya kullanılması gereksinimini doğurmuştur. Ayrıca, yüksek akım değerleri nedeniyle motorun operasyon bölgesi için ek bir devreye yapılması da gerekmiştir.

Arabasının direksiyonu bipolar magnet adım motorla kontrol edilmektedir. Adım motor H köprü kontrollü devreyle sürülmektedir. Motor tek adım operasyonunda kullanılmıştır. Sonar radar için de aynı tip adım motordan yararlanılmıştır. Robotun çevresini algılaması için radarın her yönden gelen işaretleri dinlemesi gerekir. Bunun için motor-şaft yerini kesin belirleyebilen adım motorlar kullanılır. *RoadRunner*'da adım motorun 180° taramasıyla yol saptaması yapılmıştır.

2.2 Elektronik Donanım

Özerkliğin sağlanması için robot sisteminin çevresini algılayıp (duyargaçlarla) yorumlayabilmesi (mikroişlemciyle) ve işlem yaptığı ortamı modelleyebilmesi gereklidir. Oluşturulan bu model çeşitli duyargaçlardan alınan bilgileri ve verileri yansıtmalıdır. Denetim devresi özerk hareket için gerekli tüm işlevleri yerine getirmelidir.



Şekil 3. Robotun elektronik donanımı.

Denetim sisteminde her bir devre bir diğer devre tarafından denetlenmektedir. Şekil 3'de görüldüğü gibi bu hiyerarşinin en üstünde Handy-Board yer almaktadır. Bu devrenin malzemeleri dışarıdan alınmıştır[4]. Handy-Board'un özellikleri EK-1'de verilmiştir.

2.2.1 Genişleme Devresi

Diğer devrelerle Handy-Board arasında arabirim oluşturan genişleme devresi bu robot uygulaması için özel olarak geliştirilmiştir. Handy-Board'un kendi üzerinde çıkışları yoktur, genişleme devresine amaca yönelik birimler konmuştur. Bu devre üzerinden bataryanın şarjı,

¹ Örneğin kırılmalık, ısıdan etkilenme gibi

sesüstü devresinin, kızılötesi (IR) birimlerin ve motorun denetimi gerçekleştirilmektedir. Bu devrenin özellikleri şunlardır:

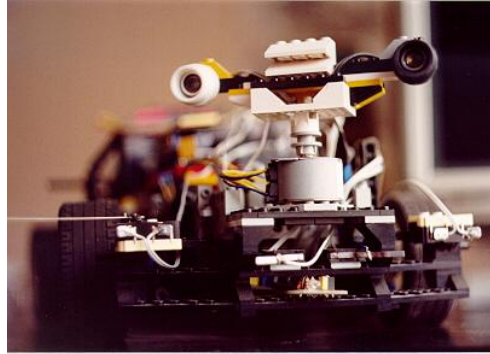
- 8 bit çıktı kapısı
- 40kHz IR Çıktı işareti
- 40 kHz IR alıcı devresi
- Sesüstü alıcı kapısı.

2.2.2 Motor Sürücü Ve Batarya Şarj Devresi

Motor sürücü ve batarya şarj devresi doğru akım motorunun iki yönde dönmesini sağlayan röle tabanlı bir denetim düzeneğine sahiptir. Bataryanın şarjı için de röle kullanılmıştır. Bütün sistemin bataryaları bu devre ile şarj edilir. Arabanın batarya boşalınca kendi kendini şarj edebilmesi de amaçlanmaktadır. Bu amaçla robotun önüne iki mikroanahtar yerleştirilmiştir. Robotun önündeki batarya şarj devresine bağlı bu anahtarlar kullanılarak araba duvardaki şarj terminallerini bulduğunda bataryanın otomatik olarak şarj edilebilmesi mümkün olacaktır.

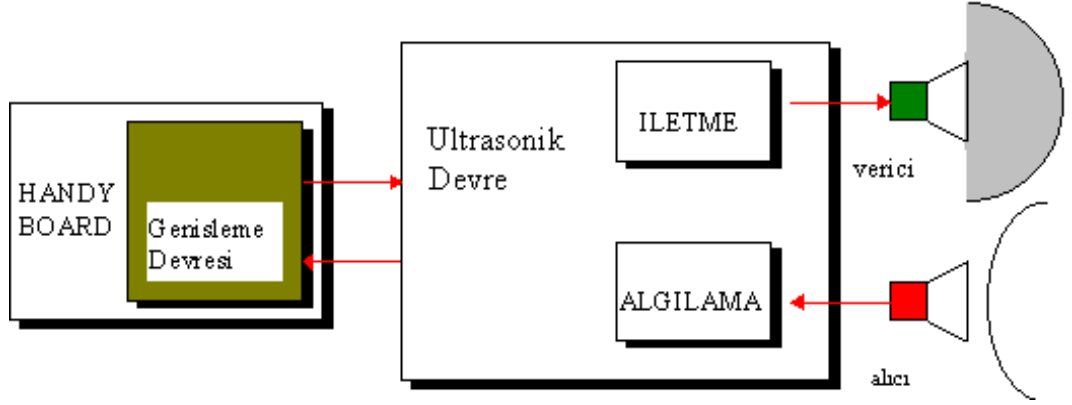
2.2.3 Sesüstü Radar

Sesüstü radar yön ve yol tayin etmede kullanılmaktadır (Şekil 4). Araba radardan gelen verilere dayanarak ortamın haritasını çıkarır ve buna göre hareket eder. Radarın algılama uzaklığı 10 cm ile 1.5 m arasındır. 1.5m *RoadRunner*'ın hızı için uygundur. Daha uzun mesafeleri algılaması için devre ayarlanabilir; ancak bu durumda yakın mesafelerdeki hassasiyet azalmaktadır. Sesüstü radarın çevreyi 180° taramasıyla ortam hakkında bir karara ulaşılır. 180° açının taranması arabanın dönüşleri rahatça gerçekleştirmesini sağlar.



Şekil 4. RoadRunner'da kullanılan sonar.

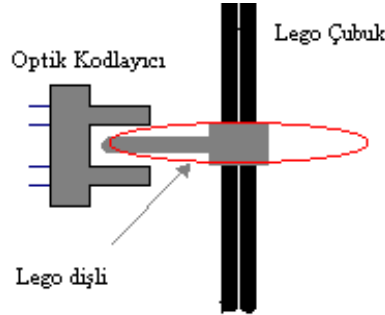
Sonar sisteminin blok diyagramı Şekil 5'de verilmiştir. 40KHz'de genişleme devresinde üretilen sinyaller sesüstü devreden geçerek vericiye ulaşır. Sonar sistem işaretin vericiden çıkıp, yansıtılarak alıcıya ulaşmaya kadar geçen sürenin ölçülmesi ilkesine dayanır. Ölçümün hassasiyeti ortam koşullarına, atmosferik basınca, dışarıdan gelen elektromanyetik gürültülere bağlıdır. Sesüstü radarın devresi oldukça modüler yapılmıştır. Bu sayede bu devre başka yerlerde de kullanılabilir. Geliştirilen devrenin boyutları 3.5x7cm'dir.



Şekil 5. Sesüstü devresinin blok diyagramı.

2.2.4 Kızılötesi Algılama Birimleri

Kısa mesafeler için kızılötesi algılama birimleri kullanılmıştır. Bu birimler için geliştirilen devre 10 cm'e kadar uzaklıkları ölçebilmektedir. Bu birimleri kullanarak robotun yerdeki bir çizgiyi takip etmesi sağlanabilmektedir. Bunun yanı sıra sistem uzaktan kumanda görevi de yapabilmektedir. Uzaktan kumanda olarak kullanılması durumunda yansıma söz konusu olmadığından çok daha uzun mesafelere ulaşılabilir. Geliştirilen kızılötesi devrelerin boyutları 2.5x3.5cm'dir.



Şekil 6 Optik kodlayıcıyla hız ölçümü.

Robotun hız ölçümü optik kodlayıcıyla yapılır. Bu kodlayıcının yapısı Şekil 6'da görüldüğü gibidir. Lego dişlilerden birinin dönüşü sırasında kodlayıcı algılar ve Handy-Board dönme sayısının bir artırır. Dönme sayısı arabanın hızı ile orantılı olduğu için arabanın hızı bu verilere dayanılarak ayarlanır.

Robotun yapımında iki tip dokunmatik duyurgaç kullanılmıştır. Ön panelde bulunan ikisi çok amaçlı bir şekilde kullanılmıştır. Bunlar bataryanın şarj edilmesini de sağlarlar. Diğerleri köşelerdeki engelleri algılayarak çarpmayı önler.

2.3 Yazılım

Handy-Board 32K RAM'e sahiptir. Handy-Board'un programlanmasında *Interactive C*(IC) adı verilen ve MIT'de Lego Robot projeleri için özel olarak hazırlanmış bir çevirici dil kullanılmaktadır. IC çokgörevli çalışabildiği için robot denetiminde oldukça kullanışlıdır. Bu

dil sadece özel bir donanım yapısı için geliştirilmiştir ve derleyici olmadığı için sistemi yavaşlatmaktadır.

2.3.1 Adım Motoru Denetimi

Adım motor denetimi adım motorun uçlarına verilen işaretlerin değiştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Ardışık olarak sarımlar aktive edildiğinde motorun dönmesi sağlanır.

2.3.2 Doğru Akım Motorunun Denetimi

Doğru akım motorunun denetimi genişleme devresiyle yapılmaktadır. Motorun dönmesi modülasyonla sağlanmaktadır. Motora verilecek gücün açık (*Mon*) ve kapalı (*Moff*) olduğu süreler değiştirilerek motorun hızı değiştirilir. Motorun açık/kapalı kalma süresi dikkatle seçilmelidir, açık kapalı kalma süresinin oranı motorun aktivasyonu açısından önemlidir. Robot harekete başlarken *Mon* düşük tutulup aşama aşama artırılarak motora hız verilir.

2.3.3 Sesüstü Radarın Denetimi

Sesüstü radarın denetiminde ilk önce bir yapay sinir ağı kullanılmıştır. Bu yöntemde özerk robot 180° lik açıyı, 7.5° adım açısı olan adım motorlu radarla tarayarak 24 veri toplar. Bu verileri yapay sinir ağlarının girişlerine vererek çıkışta yön tayini yapılır. Ancak sınırlı işlemci hızı ve RAM kapasitesi nedeniyle yordam çevrim-dışı olarak kalmıştır. Daha sonra daha basit bir yordam geliştirilerek robotun hareketinde aynı sonuçlar elde edilebilmiştir. Sonar radar hız assembler diliyle programlanmıştır. IC yorumlanan bir dil olduğundan çok yavaş kalmakta ve ölçümler doğru çıkmamaktadır.

2.3.4 Kızılötesi Birimlerin Denetimi

IR denetim birimleri ana denetleyicide *Send* ve *Receive* altprogramlarıyla sağlanmıştır. Robotun geliştirilmesinde en son adım yol tayin etmedir. Bütün verilerin değerlendirildiği bu aşamada amaca yönelik yordamlar geliştirilebilir. Yapılan makinanın özerk olması ona atanacak işlerin değiştirilip aynı sistemin pek çok yerde kullanılmasını sağlar.

3. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada zeki denetim uygulamalarında kullanılmak amacıyla hareketli bir robot geliştirilmiştir. Bu Lego Robot 55x28cm boyutlarında, yaklaşık 2,5 kg ağırlığındadır. Robot 4 ay gibi kısa bir sürede tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Ancak elde edilen özerk araba gerek mekanik gerekse elektronik açısından ilk tasarıma göre oldukça farklıdır. Bunun bir nedeni Türkiye’de bulunan malzemelerle gerçekleştirmek için devrelerin tekrar tekrar yeniden tasarlanmasıdır.

Yazılımın değiştirilmesiyle yeni bir göreve atanabilmesi bu robotun sürekli kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Bu özerk robot pek çok uygulama için uygundur. Endüstriyel uygulamaların yanısıra deneysel amaçlı olarak kullanılacak özelliklerle donatılmıştır. *RoadRunner*, öğretimde denetim yordamlarını denemek için kullanılabilir.

Bu çalışmadan elde ettiğimiz sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Özerk bir robotun denetiminin daha kolay ve daha hızlı yapılabilmesi daha hızlı bir işlemciyle mümkün olacaktır. Ancak küçük çaplı robotlarda MC68hc11 yeterlidir.
- Lego parçalar arabanın yapımı sırasında yeniden tasarım şansı verdiği için oldukça avantajlıdır. Ancak dişlilerin ve mekanizmanın plastik olması yüksek hızlarda plastiğin erimesi ve aşınmasıyla sonuçlanmıştır.
- Devrelerin tasarımından önce piyasada bulunan malzemeler gözden geçirilmelidir. Varolan malzemelerle yapılan devreler daha çok kullanılacaktır.
- İnteraktif C robotların uygulamalı öğrenilmesinde önemli bir adımdır. Ancak IC çevirici dil olduğundan gerçek zaman sistemi olan robotta yavaş kalmaktadır. Bu nedenle robotun denetiminde hız isteyen altprogramlar Assembly dilinde yazılmıştır. Derleyici ile daha başarılı sonuçlar alınabileceği görülmüştür.
- Robota modüler ek devrelerle sayısal kamera eklenebilir. Bu sayede daha gelişmiş özerk robotlar elde edilebilir.

Aslında *RoadRunner* özerk robot yapma yolunda gerçekleştirdiğimiz ilk adımdır ve daha sonraki çalışmalara ışık tutar niteliktedir. MIT’de geliştirilen mikrodenetleyici devrenin eksikleri belirlendikten sonra yeni bir denetleyici tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Bu devre Handy-Board’dakinden 3 kat fazla RAM’e sahip, Handy-Board’dan farklı olarak çıkışları olan ve en az Handy-Board kadar modüler yepyeni bir devredir. Bu yeni denetleyici hırsız alarmları ve küçük çapta ev otomasyonundan, özerk robot kontrolüne kadar pek çok alanda kullanılabilir niteliktedir.

EK 1. Handy-Board Kartının Özellikleri

Handy-Board MC68hc11 işlemciye sahiptir ve 2MHz’te çalışır. Handy-Board’un özellikleri aşağıda verilmiştir:

- MC68hc11 mikroişlemci
- LCD ekran
- Batarya seviye düşük gösterge devresi
- Piezo beeper
- 32K RAM
- Motor sürücü devreler
- analog ve dijital girdiler

Şarj/Arayüz devresi mikroişlemci kartının PC ile haberleşmesini sağlar. Handy-Board’un bataryasını (iki konumda, normal ve zap) şarj etmesini sağlar.

Kaynaklar

1. Anonim, *MIT 6.270 Course Lecture Notes*, 1995.
2. Albuz, E. ve Kocalar, E., “Lego Robot Design and Implementation,” Bitirme Ödevi, Bogazici Üniversitesi, 1996.
3. Borenstein, J. et al, “Where am I?” Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning, The University of Michigan, 1996.
4. Anonim, *HandyBoard Assembly Guide*, Gleason Research, 1996.