

Lego Mindstorms NXT Robot Kitleri ile Robotbilime Giriş

H. Levent Akın^a, Çetin Meriçli^b, ve Tekin Meriçli^a

^a*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi;* ^b*Robotik Enstitüsü, Carnegie Mellon Üniversitesi, ABD*

March 13, 2014

Abstract

Robotbilimin temellerini Bilgisayar Bilimi öğrencilerine öğretebilmek için doğru hazırlanmış bir ders müfredatı, kolayca karmaşık robotlar yapılabilmesine ve bu robotlar üzerinde gelişmiş algoritmaların uygulanmasına olanak veren bir platform kullanılarak hazırlanan uygulamalı laboratuvar çalışmaları ile desteklenmelidir. Bu makale Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde 2007 yılından beri verilmekte olan ve uygulama platformu olarak Lego Mindstorms NXT robotik kitlerinin kullanıldığı “Robotbilime Giriş” dersinin amacı, kapsamını, teorik ve uygulamalı içerikleri ile her biri birden fazla temel robotik ve yapa zeka problemi içeren dönem projelerini detaylı bir şekilde açıklamaktadır.

1 Giriş

Bilgisayar bilimi öğrencilerine robotbilim öğretmek, özellikle bu öğrencilerin genelde robotbilimin tamamı için çok önemli olan belirsizlik kavramı (algılayıcı ve eyleyicilerdeki gürültü gibi) konusuna aşına olmamaları nedeni ile özel bir zorluk taşır. Ayrıca, bu öğrencilerin önemli bir kısmı bir robot yapmak için sahip olunması gereken elektronik ve mekanik bilgisinden de yoksunlar. Dolayısı ile, böyle bir öğrenci grubuna robotbilimi verimli bir şekilde öğretebilmek için hem dikkatle hazırlanmış bir müfredat, hem de teorik konuların işlenmesinin hemen ardından uygulamalarının yapılabilmesini sağlayacak, hızla ve çok derin elektronik ve mekanik bilgisi gerektirmeden çeşitli robotların yapılmasına olanak verebilecek bir platform kullanılmalıdır. Bu platform ayrıca üzerinde işlenen teorik konuların gelişmiş algoritmaların uygulanabileceği kadar gelişkin programlama olanakları da sunmalıdır.

Lego Mindstorms NXT robot kiti tüm bu saydığımız gereksinimleri karşılamaktadır. Mindstorms NXT platformunun görece olarak kısıtlı işlem gücü ise bilgisayar bilimi öğrencilerinin verimli yazılım geliştirme becerilerini ön plana

çıkarmaktadır. Lego Mindstorms kitlerinin temel robotbilim eğitiminde kullanılması ilköğretim seviyesinde oldukça yaygındır [10]. Öte yandan, bu kitlerin kullanımı genellikle temel bilgisayar bilimi ve programlama kavramlarının öğretilmesi ile sınırlıdır [8]. Bizim dersimizin bu bahsedilen uygulamalardan farkı, gelişmiş robotbilim konularını pahalı ve özel robot donanımları kullanmadan öğretmeyi hedeflemesidir.

Dersimiz patika planlama, gezinim, algılayıcı ve eyleyici çaplaması (kalibrasyon), olasılıksal çıkarım ve kontrol teorisi gibi teorik konuların işlendiği haftalık derslerden oluşmaktadır. Her teorik dersi takiben derste işlenen konuyu pekiştirme amacı ile bir laboratuvar çalışması yapılmakta ve öğrencilerden o haftanın teorik konusu etrafında şekillendirilmiş mini bir projeyi gerçekleştirmeleri istenmektedir. Dönemin son bir aylık bölümünde ise yarışma şeklinde hazırlanmış büyük bir dönem projesi verilmektedir. Bu proje, dönem boyunca işlenen teorik konuların hemen hepsinin kullanımını gerektirmekte, ve öğrenciler takımlar halinde çalışarak teorik konuların verimli ve düzgün bir mühendislik ile entegre edilmesi ve baştan sona çalışan tamamlanmış bir robot sistemi oluşturulması üzerinde çalışmaktadırlar.

2 Ders İçeriği

İyi bir lisans düzeyi robotbilime giriş dersi bir yandan olabildiğince çok konu başlığı içerip robot yapımı ve programlanması için sağlam bir temel oluşturacak şekilde tasarlanırken bir yandan da öğrencilerin bu kadar çok ve ağır konular altında ezilmemelerini, dersi kolayca takip edebilmelerini ve dersten zevk almalarını sağlamasına önem gösterilmelidir. Bu hedefleri gözönünde tutarak robotbilimin temellerini oluşturduğunu düşündüğümüz şu konuları derste işlemeye karar verdik:

- Eyleyici ve algılayıcılardaki belirsizlik, ve bu belirsizlikle nasıl başa çıkılabileceği
- Yer bulma
- Patika planlama ve engel savuşturma
- Davranış temelli ve tepkisel kontrol mimarileri
- Kontrol teorisi
- Haritalama
- Çoklu robot sistemleri, yapay öğrenme ve sosyal robotik gibi gelişmiş konular

Belirsizlik, robotbilimdeki ana unsurlardan biri olmasına rağmen genelde gerçek dünya ile etkileşen ve gerçek dünyadaki hemen herşeyde bulunan gürültüye aşına olmayan bilgisayar bilimi lisans öğrencileri tarafından yeterince içselleştirilmemiştir. Bu nedenle, derste belirsizlik ve algılayıcı ve eyleyici çaplama,

süzme ve olasılıksal çıkarım gibi belirsizlikle başa çıkma yöntemlerine özellikle ağırlık vermeyi kararlaştırdık.

Dersin teorik içeriği ne kadar iyi olursa olsun, öğrenilen kavramların içselleştirilmesine yardımcı olması için uygulamaya yeterli miktarda ağırlık verilmesi gerektiğine inanıyoruz. Bu görüşümüzden hareketle haftalık ders akışını bir saatlik teori ve hemen ardından da öğrencilerin teorik kısımda öğrendiklerini uyguladıkları iki saatlik bir laboratuvar çalışması şeklinde tasarladık. Laboratuvar çalışmalarında Lego Mindstorms NXT robot kitlerini kullandık. Mindstorms kitinin işlemci ünitesi normalde kendine has bir programlama arayüzü ile programlanmakta. Bilgisayar bilimi müfredatımızda öğretilen ana programlama dillerinden biri Java olduğundan öğrencilerin uyum sürecini daha da hızlandırması adına Lego kitlerinin programlama arayüzlerini bir açık kaynak projesi olan ve Lego kitlerinin Java ile programlanmasına olanak tanıyan *LeJOS* yazılımı ile değiştirdik (<http://lejos.sourceforge.net/>).

Derste işlenen konular ve laboratuvar uygulamalarını robotik, yapay zeka ve Lego Mindstorms uygulamaları konusunda yazılmış çeşitli kaynak kitaplarla destekledik [1, 5–7, 9, 11–13]. Dersin içeriğine ve ders materyallerine

<http://robot.cmpe.boun.edu.tr/~cmpe434>

adresinden ulaşılabilir. Dersin haftalık akışı ve işlenen konuları şu şekilde belirledik:

2.1 1.Hafta - Giriş

Bu haftanın amacı öğrenciler zekanın tanımı, “etmen” kavramı, robot bilimin kısa tarihi, geribildirimsel kontrol kavramı, algılayıcı ve eyleyici kavramları gibi genel kavramlarla tanışmasını sağlamak ve kendilerine verilen Lego kitleri ile *CMU Robotics Academy* kaynaklı *TaskBot* adındaki ilk robotlarını yapmalarıdır [4] (Figure 1). Bu robot, Lego’nun programlama arayüzü ile programlanarak el çırpma sesine göre yön değiştirerek ortada dolaşabilmektedir.

2.2 2.Hafta - Lego Mindstorms NXT kitini Java ile programlama

İkinci haftanın amacı robot kitlerinin Java ile programlanmasına başlanmasıdır. LeJOS yazılımının robotlara yüklenmesini takiben öğrenciler LeJOS örneklerini inceleyip robotu hareket ettirme, algılayıcı ve motorlara erişme ve ilk haftaki uygulamaların Java ile tekrarlarını gerçekleştirmektedir.

2.3 3.Hafta - Algılayıcılar ve eyleyiciler

Eyleyiciler ve algılayıcıları bilgisayar bilimi öğrencilerine giriş/çıkış birimleri benzerliği kullanılarak anlatılmaktadır. Bu haftanın teorik kısmında değişik algılama ve hareket tipleri, belirsizlik kavramı, motor tipleri, algılayıcı tipleri, güç denetlemesi, pil sistemleri ve algıla-düşün-yap paradigması işlenmektedir. Dersin uygulama kısmında ise belirsizlik kavramını pekiştirmek için öğrencilerden



Figure 1: TaskBot robotu.

Lego kitinin ışık, sesötesi uzaklık ve dokunma algılayıcılarını tekrarlı bir şekilde test edip uzaklık ve ışık miktarına göre algılanan değerlerin beklenen doğrusal ilişki modeline uyup uymadıklarını belirlemeleri istenmektedir. Benzer şekilde, öğrencilerden ayrıca motorlara gönderilen güç ile gözlenen hız arasındaki ilişkiyi de modellemeleri beklenmektedir.

2.4 4.Hafta - Hareket

Bu derste genel hareket mimarileri, serbestlik derecesi kavramı, eklemler, durağan ve dinamik denge, ileri ve ters kinematik, odometri gibi kavramlar işlenmektedir. Uygulama bölümünde ise bir önceki haftanın devamı niteliğinde odometri çaplaması çalışması yaptırılmaktadır. Bu çalışmada öğrenciler robotu $4m \times 4m$ boyunda bir kare yörünge üzerinde birden çok kere saat yönü ve tersi yönde hareket ettirmekte ve robotun son noktasının idealden çaplama uygulanmadığında ve uygulandıktan sonra ne kadar saptığını raporlamaktadırlar.

2.5 5.Hafta - Kontrol

Bu haftanın teorik dersinde kontrol teorisine giriş yapılarak açık ve kapalı devre kontrol, geribildirimli kontrol sistem tipleri, doğrusal ve doğrusal olmayan kontrol, PID kontrol metodunun detaylı incelenmesi ve PID kontrol sistemlerinin Ziegler-Nichols yöntemi ile ayarlanması konuları işlenmektedir. Uygulama bölümünde ise öğrencilerin amacı iki tekerleği üzerinde kendini dengeleyen bir robot yaparak bu robotu uygun PID katsayılarını bulmak sureti ile en uzun süre dengede tutmaya çalışmaktır. Öğrencilerin tasarladığı kendini dengeleyen robotlardan biri Figure 2’de verilmiştir.



Figure 2: Kendini dengeleyen bir robot örneği.

2.6 6.Hafta - Tepkisel mimariler

Bu derste robot kontrol mimarileri ve istemli mimarilere genel bir bakışın ardından algıla-düşün-yap paradigması ve bu paradigmanın sorunlu kısımları daha detaylı incelenerek tepkisel kontrol prensipleri, Braitenberg araçları, melez kontrol mimarileri, üç katmanlı mimariler ve melez kontrolün artıları ile eksileri işlenmektedir. Uygulama bölümünde ise öğrencilere çok basit algılayıcı-eyleyici eşleştirmeleri ile de karmaşık davranışların elde edilebileceğini göstermek amacıyla öğrencilerden ilk dört Braitenberg aracını uygulamaları istenmektedir [2].

2.7 7.Hafta - Davranış temelli mimariler

Bir önceki haftanın devamı olarak bu haftaki derste davranış, kendiliğinden oluşan davranış ve tepkisel davranış kavramları, hayvanlarda davranış, davranış-eylem karşılaştırması, davranışların temsil edilmesi, davranış temelli mimarilerin değerlendirilme metodları ve Kapsama Mimarisi (Subsumption Architecture) [3] işlenmektedir. Uygulama bölümünde ise öğrenciler Kapsama Mimarisini kullanarak engelden kaçma, ışık kaynağı arama ve ışık kaynağına gitme gibi basit davranışları birleştirerek robotun engellerden kaçarak ışığa gitmesini sağlamaya çalışmaktadırlar.

2.8 8.Hafta - Yer bulma

Bu derste yer bulma probleminin zorluklarına kısaca değinilmekte, ardından pasif ve aktif yer bulma, yer bulma algoritmalarının sınıflandırılmaları, nirengi metodu (triangulation), olasılıksal yer bulma yöntemleri, Markov, Kalman, Monte Carlo ve Ters Monte Carlo yer bulma yöntemleri işlenmektedir. Uygulama kısmında ise öğrencilerden bir Monte Carlo yer bulma algoritması için gözlem ve hareket modelleri üretmeleri beklenmektedir. Bu uygulamada kullanılan robot hareket yönüne dik olarak takılmış bir uzaklık algılayıcısı taşımaktadır. Okunan uzaklık değeri motorlardan sağlanan yer değiştirme bilgisi ile birleştirilip

robotun nerede olabileceğine ilişkin hipotezlerin güncellenmesinde kullanılmaktadır. Figure 3'de mavi çizgiler haritayı, ince kırmızı çizgiler robotun yer hipotezlerini, yeşil çizgi ise robotun hesapladığı yer kestirimini göstermektedir.

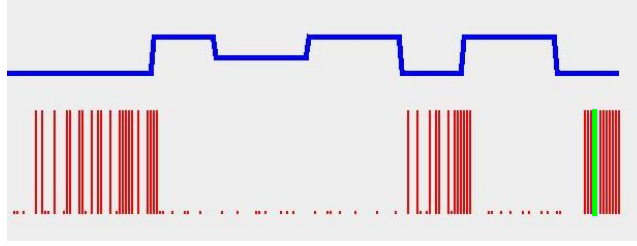


Figure 3: Yer bulma algoritmasını test etmek için kullanılan görselleştirme aracından bir görüntü.

2.9 9.Hafta - Patika planlama

Bu hafta teorik derste patika planlama probleminin tanımı, patika planlamanın hesapsal karmaşıklığı, böcek algoritmaları, görülebilirlik diyagramları, genelleştirilmiş Voronoi diyagramları, ızgara temelli metodlar ve hücre çözümlemesi, potansiyel alanlar, örnekleme temelli yöntemler, olasılıksal yol haritaları (PRM) ve hızla araştıran rastgele ağaçlar (rapidly exploring random trees RRT) konuları işlenmektedir. Laboratuvar uygulamasında ise öğrenciler Böcek1 ve Böcek2 algoritmalarını kullanarak bir robotun önüne çıkan engellerden kaçarak bir ışık kaynağına gitmesini sağlamaya çalışmaktadır.

2.10 10.Hafta - Haritalama

Bu derste neden robotların haritalamaya ihtiyaç duyduğu kısaca tartışıldıktan sonra çevre modelleme ve gösterim metodları, haritalama problemindeki zorluklar, sürekli gösterim, tek ve çok hipotezli yaklaşımlar, hücre çözümleme metodları, doluluk ızgaraları (occupancy grids), eşzamanlı yer bulma ve haritalama (SLAM) problemi ve SLAM yaklaşımının uygulamaları işlenmektedir. Laboratuvar uygulamasında ise öğrenciler sesötesi uzaklık algılayıcısı olan bir robot yaparak bu robotun $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ boyunda bir kare patikayı takip etmesi ve bu patikanın etrafına yerleştirilmiş nesnelerin bir haritasını çıkarması istenmektedir.

2.11 11.Hafta - Öğrenme

Bu haftanın teorik dersine öğrenme ve yapay öğrenmenin tanımlarını vererek başladıktan sonra gözetimli ve gözetimsiz öğrenme, pekiştirmeli öğrenme [14], Markov Karar Süreçleri, Monte Carlo örnekleme, zamansal fark (temporal difference, TD) öğrenme, Q-öğrenme gibi yaklaşımlar incelenerek yapay öğrenmenin

uygulama alanlarına kısaca değinilmektedir. Bu haftadan itibaren uygulama zamanında öğrenciler dönem projesi üzerinde çalışmaya başlamaktadır.

2.12 12.Hafta - Çoklu robot sistemleri

Bu derste genel çoklu robot terminolojisi, çoklu robot sistemlerinin sınıflandırılmaları, çoklu robot yer bulma, iletişim, haritalama ve araştırma, öğrenme gibi konuların yanında merkezi ve dağıtık çoklu robot sistemlerinin karşılaştırılması, çoklu robot sistemlerinin avantaj ve dezavantajları gibi konular işlenerek serbest piyasa temelli görev atama metodları ile robot futbolu örnek uygulamalar olarak anlatılmaktadır.

2.13 13.Hafta - Sosyal robotik

Dönemin bu son teorik dersinde sosyal robotların tanımı, türleri ve formları, sosyal robotlardaki temel tasarım problemleri, etkileşim türleri, sosyal öğrenme, yapay duygular, taklit gibi konulara değinilerek örnek ve potansiyel uygulamalar incelenmektedir.

3 Dönem Projeleri

Dönem boyunca laboratuvar uygulamalarında kazanılan tecrübeleri daha da pekiştirmek için öğrencilere her yıl değişik bir temaya sahip ve haftalık uygulamalardan görece olarak daha karmaşık bir proje verilmektedir. Bu projeler çıkarım, patika planlama, haritalama, algılama ve hareket gibi yapay zeka ve robotbilimdeki önde gelen problemlerin basitleştirilmiş hallerini içermektedir. Bu bölümün kalan kısmında 2007 yılından bu yana verilen projeleri detaylıca açıklayacağız.

3.1 Wumpus Dünyası

Bu projede öğrencilerden ünlü *Wumpus Dünyası* probleminin biraz değiştirilip basitleştirilmiş halini gerçek ve gürültülü dünyada çalışacak şekilde gerçekleştirmeleri beklenmektedir. Basitleştirilmiş Wumpus Dünyası duvarlarla çevrili 5×5 kare ızgara hücrelerinden oluşmaktadır. Boş olmayan hücreler dipsiz bir kuyu, **Wumpus** isminde kötü kokulu bir canavar, ya da bir sandık dolusu altın barındırıyor olabilir. Robotun amacı kuyulara düşmeden ve Wumpus'a yem olmadan altını bulup başlangıç konumuna geri dönmektir. Wumpus'un bulunduğu hücrenin etrafındaki hücrelerde de canavarın kötü kokusu duyulabilmektedir. Benzer bir şekilde, dipsiz kuyu barındıran hücrelerin etraflarındaki hücrelerde bir esinti hissedilmektedir. Altının bulunduğu hücrede ise altının ışıltısı görülmektedir. Robotun tuzaklara düşmemesi için ortamdan edindiği bu gözlemlere göre bir takım çıkarımlar yapması gerekmektedir. Kötü koku, esinti, ve parıltı algıları robotun renk algılayıcısı tarafından farkedilebilecek değişik renklerle temsil edilmişlerdir, duvarlarla temas ise robotun çarpma

algılayıcısı aracılığıyla anlaşılmaktadır. Java programlama dilini kullanarak gerçekleyip öğrencilere sunduğumuz özel bir benzetim ortamı aracılığıyla projenin yapay zeka ve fiziksel tasarım kısımları birbirinden ayrılıp, öğrencilerin ilk olarak strateji kısmına odaklanabilmeleri sağlanmıştır. Yazılım geliştirme sürecine paralel olarak öğrencilerden benzetim ortamındaki etmenin kullandığı algılama ve eylem fonksiyonlarının gerektirdiği alt seviye işlevselliği geliştirmeleri beklenmektedir. Benzetim ortamının geliştirilmesinde Java programlama dilinin kullanılması öğrencilerin etmen yazılımlarını herhangi bir değişiklik gerektirmeden robotlarında kullanabilmelerini sağlamaktadır. Örnek bir *Wumpus Dünyası* benzetim ortamı senaryosu Figure 4'ta gösterilmiştir.

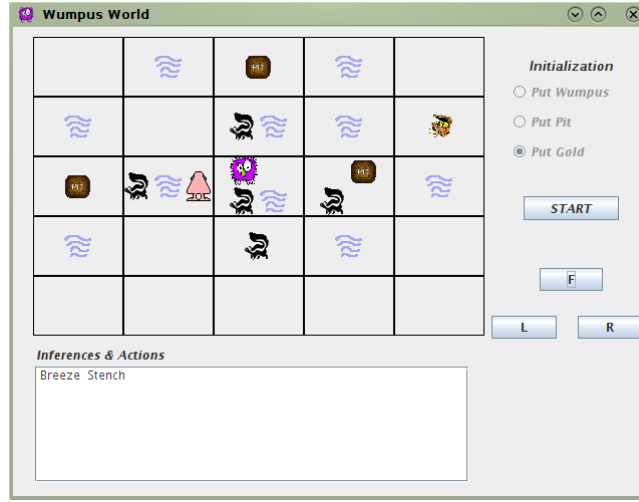


Figure 4: Wumpus Dünyası problemi benzetiminden bir görüntü.

3.2 Prensese Kurtar

Bu projede öğrencilerden hem bir labirentte gezebilecek hem de bir direğe tırmanabilecek dönüştürülebilir bir robot tasarlanmaları beklenmektedir. Amaç, kaçırılıp yeraltı zindanında tutulan “prensese” bulup kurtarmak ve direğe tırmanarak onu zindandan çıkarmaktır. Zindan kare hücrelerden oluşmuş dikdörtgenel bir alan olarak gerçekleşmiştir. Alan duvarlarla çevrilidir ve boş olmayan her kare en fazla bir çeşit nesne barındırabilir. Geçerli nesneler şunlardır: engel (belirli bir renkle kodlanmamıştır), direk (sarı renkle kodlanmıştır), ve prensese (mavi renkle kodlanmıştır). Öğrencilerin en fazla üç motor, sadece bir tane Lego işlemci ünitesi, ve işlemci ünitesinin destekleyebildiği çeşitlilikte ve çoklukta algılayıcı kullanmalarına izin verilmektedir. Robotun başlangıç konumu rastgele belirlenmektedir. Figure 5 kolayca direk tırmanıcı bir robota dönüştürülebilen tasarımlardan birini göstermektedir.

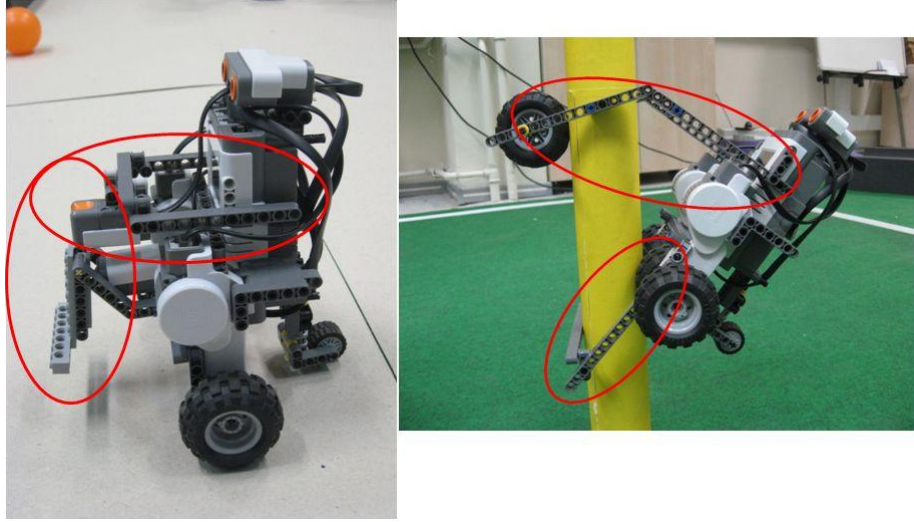


Figure 5: Prensese Kurtar projesi için geliştirilmiş bir robot örneği. Zeminde hareket etmek ve prensesi aramak için kullanılan robot (solda) prensesi bulduktan sonra kolayca bir direğe tırmanan bir robota dönüştürülebiliyor (sağda).

3.3 Labirent Faresi

Bu projenin amacı belirli bir labirenti en kısa sürede çözebilecek bir robot, diğer adıyla bir “mikro-fare” geliştirmektir. Mikro-fare IEEE tarafından hazırlanmış, robotik farelerin 16×16 boyutlarında bir labirenti çözmeye çalıştıkları bir mühendislik tasarım yarışmasıdır. Fareler, önceden belirlenmiş bir başlangıç konumundan labirentin orta kısmına herhangi bir yardım almadan ulaşmaya çalışan tamamen özerk robotlardır. Bir mikro-fare, konumunu ve geçtiği yerleri aklında tutmak, keşif gezisi sırasında labirentin duvarlarını belirlemek, bu bilgilere dayanarak labirenti haritalamak, ve hedefe vardığında bunu anlamak durumundadır. Hedefe vardıktan sonra fare genelde ek keşif gezileri yaparak başlangıç konumundan labirentin merkezine ilk bulunandan daha uygun ve verimli patikaların varlığını araştırır. En uygun patika bulunduğundan sonra fare bu patikayı mümkün olan en kısa sürede katetmeye çalışacaktır.

Yer kısıtları nedeniyle ve süreci basitleştirme adına kendi projemizde labirentin boyutlarını $33 \text{ cm} \times 33 \text{ cm}$ karelerden oluşacak şekilde 8×8 olarak belirledik. Labirentin merkezinde hedefi temsil eden ve diğer hücrelerden farklı renklendirilmiş 2×2 boyutlarında bir boşluk bıraktık. Labirent kurulumundan bir görüntü Figure 7’de sunulmuştur.

3.4 Arama ve Kurtarma

Bu projenin amacı afet sonrası yıkıntıyı temsil eden bir labirentte çalışacak bir arama-kurtarma robotu inşa etmektir. Yıkıntı, robotun ve objelerin olası kon-

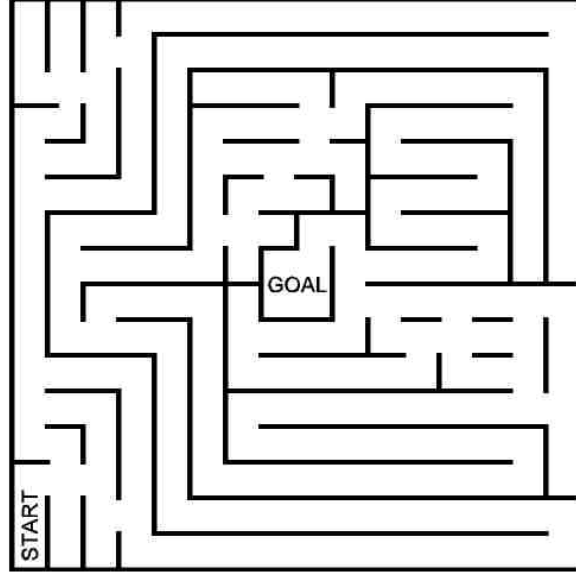


Figure 6: Örnek bir labirent



Figure 7: Küçültülmüş bir “Mikro-fare” labirentinden bir görüntü.

umlarının bir ızgara ile belirtildiği bir ayrık dünya olarak modellenmiş, mağdurlar ise yaralılık seviyelerine göre (sıkışmış, yaralı, ölü) A5 boyutunda değişik renklerdeki kağıt parçalarıyla temsil edilmiştir. Öğrencilerden beklenen bu labirenti verimli bir şekilde dolaşıp haritasını çıkartacak ve yaralıları bu harita üzerinde konumlandırarak bir arama-kurtarma robotu geliştirmeleridir. Robot labirenti

dört köşesinden rastgele belirlenen bir tanesinden hareketle araştırmaya başlar ve haritalama operasyonu sonunda başlangıç konumuna dönmesi beklenir. Elde edilen haritanın son hali Bluetooth üzerinden bir bilgisayara aktarılıp burada görüntülenmelidir.

3.5 Define Avcısı

Bu projenin amacı RoboCup Genç Arama-Kurtarma B kategorisi yarışmalarında da kullanılan, ancak hareketi kolaylaştıracak çizgilerin kaldırıldığı, değişik odacıklardan oluşmuş iki katlı bir ortamda (Figure 8) çalışacak define avcısı bir robot geliştirmektir (http://rcj.robocup.org/rcj2011/rescueB_2011.pdf). Ortam 30×30 cm boyutlarında ızgara hücrelerinden oluşan bir ayrık dünya olarak modellenmiştir. Değişik tipte hazineleri (altın, gümüş, bronz), hazine kutularını, ve tuzakları barındıran hücreler zemine yerleştirilmiş A5 boyutunda değişik renklerdeki kağıt parçalarıyla temsil edilmiştir. Hazine kutusu, toplanan hazineleri saklamak için kullanılmaktadır. Robot bir tuzağa düşerse, o ana kadar topladığı ancak hazine kutusuna bırakmadığı bütün hazine yok olacaktır. Robotun hazine bulup aldığı hücreler, 3 dakika sonra aynı türde hazinelerle doldurulur. Amaç verilen sürede olabildiğince fazla hazine toplamaktır. Robot ilk katın dört köşesinden birinden hareketle ortamı haritalamaya başlar. Robot hazineyi toplamak ve üzerindeki hazineleri bırakmak gibi eylemleri değişik seslerle bildirmelidir. Buna ek olarak, Bluetooth bağlantısı aracılığıyla bir bilgisayar üzerinde çıkarılan haritanın görüntülenebileceği bir görselleştirme yazılımı geliştirilmelidir.

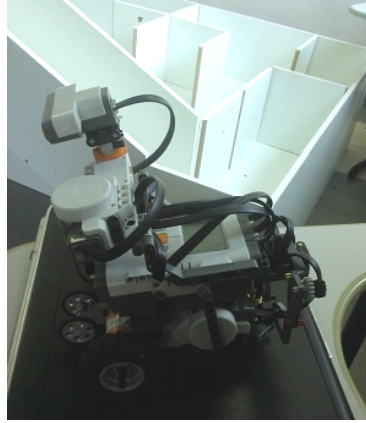


Figure 8: Define Avcısı projesi için geliştirilen bir robot ve arkaplanda yarışma alanı.

4 Öğrencilerin Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Öğrencilerin çalışmalarında katettikleri mesafeyi hafta boyunca yapılan işlerin canlı gösterileri ve bir önceki hafta tamamlanan laboratuvar çalışmalarını özetleyen teknik raporlar aracılığıyla denetliyoruz. Hazırlanan raporlarda öğrencilerden karşılaştıkları zorlukları, bu zorlukları aşmak için ne gibi yöntemler kullandıklarını, hem yazılım hem de donanım tarafında ne gibi tasarım seçimleri yaptıklarını, ve bu seçimleri hangi gerekçelere dayandırdıklarını anlatmalarını istiyoruz. Benzer bir şekilde, dönem projesi de teknik raporlar ve canlı gösteriler aracılığıyla değerlendirilmektedir. Dönem projesinin ilanı ve atanmasından sonra öğrenci takımları öncelikli olarak tahmini tasarım kararlarını ve bu kararların gerekçelerini anlattıkları bir tasarım dökümanı hazırlarlar. Projenin sonunda canlı gösteriye ek olarak yaptıkları işleri çok daha detaylı bir şekilde açıkladıkları bir final raporu da sunarlar. Final gösterilerini genelde bir yarışma çerçevesinde düzenleyip sıradışı performans gösteren takımları ek puanlarla ödüllendirmekteyiz. Öğrencilerin dersin teorik içeriğin sunulduğu kısmı ile ilgili yeterlilikleri ise yazılı bir sınav aracılığıyla ölçülmektedir.

İlk üç sene hem haftalık raporların hem de dönem projesi raporlarının kağıda basılı kopyalarını topluyorduk. Ancak 2010 senesinden itibaren raporların toplanması ve değerlendirilmesi için wiki temelli ağ sayfamızdan faydalanarak oluşturduğumuz çevrimiçi geribildirim sistemini kullanmaya başladık. Robotik sistemlerin değerlendirilmesinde yapılan tasarımı gerçek dünyada çalışırken görmek büyük önem taşır; bu nedenle ağ teknolojilerini yoğun olarak kullanıyor olmanın öğrencilere laboratuvar saatleri dışında da yaptıkları işlerin videolarını yükleyip paylaşabilme imkanı sunuyor olması açısından çok büyük olumlu etkileri görülmüştür. Arşiv amaçlı kullanılabilecek çok sayıda fotoğraf ve videonun derlenmesini kolaylaştırması da ağ temelli geibildirim sistemimizin bir diğer faydasıdır.

5 Sonuç

Bu makalede Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde 2007 yılından beri verilmekte olan lisans düzeyindeki "Robotbilime Giriş" dersi anlatılmıştır. Dersimiz bir özel konu (special topic) dersi olarak başlamış ve daha sonra öğrencilerden gelen yoğun ilgi ve pozitif geribildirimler neticesinde 2011 yılında düzenli bir seçmeli ders haline gelmiştir. Buna ek olarak 2011 yılında yoğun öğrenci talebini karşılayabilmek için dersin kapasitesini 10 öğrenciden 22 öğrenciye çıkardık.

Tasarladığımız müfredat ve laboratuvar uygulamaları öğrencilerden düzenli olarak aldığımız son derece olumlu geridönüşlerle başarısını ispat etti. Bunun sonucunda, başladığımız zamandan bu yana dönem projeleri dışında dersin içeriği neredeyse hiç değişmedi. Ayrıca, 2007'den bu yana deneyimlerimize dayanarak kullandığımız Lego Mindstorms NXT kitlerinin karmaşık robotlar yapılabilmesini sağlamanın özellikle Java gibi popüler bir dille programlanabilmesi ile birleştiğinde böyle bir giriş seviyesi dersi için çok ideal bir platform olduğunu

düşünüyoruz.

Bu dersin başarısından cesaret alarak hem laboratuvar uygulamalarını hem de dönem projelerini çoklu robot sistemleri, yapay görme temelli hareket ve haritalama ve yapay öğrenme gibi konuları da içerecek şekilde genişletmek, ve bu dersin başka okullarda da kolayca tekrarlanabilmesi için ders notları ve laboratuvar uygulamalarının detaylıca anlatıldığı bir kitap yazmayı planlamaktayız.

References

- [1] Brian Bagnall. *Maximum Lego NXT: Building Robots with Java Brains*. Variant Press, 2007.
- [2] Valentino Braitenberg. *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*. The MIT Press, February 1986.
- [3] Rodney Brooks. A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 2(1):14–23, 1986.
- [4] Carnegie Mellon Robotics Academy, 2007. <http://www.education.rec.ri.cmu.edu>.
- [5] Gregory Dudek and Michael Jenkin. *Computational Principles of Mobile Robotics*. Cambridge University Press, 2000.
- [6] Mario Ferrari. *Building Robots with Lego Mindstorms*. Syngress Pub., 2002.
- [7] Michael Gasperi, Philippe E. Hurbain, and Isabelle L. Hurbain. *Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level*. Apress, 2007.
- [8] Michael W. Lew, Thomas B. Horton, and Mark S. Sherriff. Using LEGO MINDSTORMS NXT and LEJOS in an Advanced Software Engineering Course. In *The 23rd Annual IEEE-CS Conference on Software Engineering Education and Training*, 2010.
- [9] Fred G. Martin. *Robotic Explorations: A Hands-on Introduction to Engineering*. Prentice Hall, 2001.
- [10] Maja Mataric. Robotics Education for All Ages. In *AAAI Spring Symposium on Accessible, Hands-on AI and Robotics Education*, 2004.
- [11] Maja Mataric. *The Robotics Primer*. MIT Press, 2007.
- [12] Robin R. Murphy. *An Introduction to AI Robotics*. MIT Press, 2000.
- [13] Stuart Russell and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, 2003.
- [14] R.S. Sutton and A.G. Barto. *Reinforcement learning: An introduction*. Cambridge Univ Press, 1998.