

Engelden Kaçınma Kabiliyetine Sahip Sınırsız Çalışma Alanlı Tele-operasyon

Osman Nuri Şahin, Timuçin Eriş, Mehmet İsmet Can Dede

Makine Mühendisliği Bölümü

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla İzmir

osmansahin@iyte.edu.tr, timucineris@iyte.edu.tr, candede@iyte.edu.tr

Özetçe

Günümüzde birçok alanda kullanılan tele-robotların görev sırasındaki başarısı robotun hareket kabiliyeti ve operatör ile robot arasındaki etkileşime bağlıdır. Mobil robotun hareket kabiliyetini artırmak için robotun her yöne hareket edebilmesine olanak veren farklı yapılarda tümyönlü (omni-directional) tekerlekler geliştirilmektedir. Ayrıca tele-operasyon sırasında mobil robotun çevresindeki nesnelere algılayıp çarpışmadan kaçınmasını sağlayacak sistemler tasarlanmaktadır. Bu çalışmada, bağımlı sistemi (slave system) tümyönlü bir mobil kara robotu olan sınırsız çalışma alanlı tele-operasyon sistemi geliştirilmiştir. Mobil robotun çevresindeki engelleri algılayıp çarpışmadan kaçınması için iki farklı engelden kaçınma algoritması tasarlanmıştır. Tasarlanan algoritmaların test sonuçları bildiride sunulmuş ve sonuçlar tartışılmıştır.

1. Giriş

En basit tabirle, bir aracı veya bir robot kolunu uzaktan kontrol etmek anlamına gelen tele-operasyon, günümüzde, ulaşılması güç veya insanlar için tehlikeli olan alanlarda; görev maliyetini düşürmek için, görev esnasında oluşabilecek kazalara karşı insan hayatını korumak amacıyla veya otonom robotlar tarafından gerçekleştirilmesi güç olan görevlerde kullanılmaktadır. Tele-operasyon, alt sistemler arasındaki bilgi alışverişinin yönüne ve bağımlı alt sistemde kullanılan robotun çalışma alanına göre sınıflandırılabilir. Tele-operasyon çeşitlerinden biri olan sınırsız çalışma alanlı tele-operasyonda, robotlar havada, karada ve denizde birçok görevde kullanılabilmekte ve farklı görevler için değişik tele-robotlar tasarlanıp geliştirilmektedir [1, 2].

Tele-operasyonun başarısı, robot-operatör ve robot-çevre arasındaki etkileşim, ve robotun hareket kabiliyeti gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle, kara araçlarında, robotun hareket kabiliyetini artırmak için robotun her yönde hareketine izin veren özel yapıları tekerlekler tasarlanmıştır. Bu tekerleklerden biri olan Mecanum tekerleklerle yapılan bir çalışmada, yük taşıma robotunun hareket kabiliyeti bu tekerleklerle artırılmaya çalışılmıştır [3]. Bir başka çalışmada bu tipteki tekerleklerle daha iyi bir sürüş için elektrikli tekerlekli sandalyeler tasarlanmıştır [4]. Bir diğer her yöne gidebilen tekerlek yapısı olan tümyönlü tekerlekle yapılan bir çalışmada ev işleri veya tur rehberliği gibi otonom görevleri yapabilecek bir robot tasarlanmış ve bu robot için dinamik

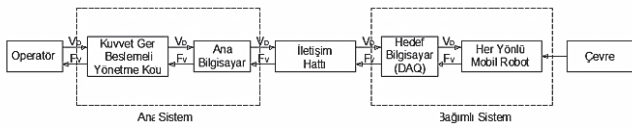
hareket kontrolü yapılmıştır [5]. Günümüzde çok popüler bir robot müsabakası olan Robocup'ta yarışan robotlarda yine bu tekerleklerden faydalanılmaktadır [6, 7]. Ayrıca, bu yapıdaki ticari tekerleklerin bazı zayıf noktalarından kaynaklanan sorunlar nedeniyle, araştırmacılar küresel tekerlekler [8] gibi daha farklı tümyönlü tekerlekler üzerinde çalışmaktadırlar.

Operatör kontrolündeki robotların denetiminde karşılaşılan önemli sorun, robot ile içinde bulunduğu çevre arasındaki etkileşimden kaynaklanan problemlerdir. Bu etkileşimin çeşitli yollarla operatöre aktarılması gerekmektedir. Genellikle robotun içinde bulunduğu çevre operatöre görüntü sistemleriyle aktarılır. Fakat bu aktarım operatörün robotu efektif bir şekilde kullanması için yeterli değildir. Robot ile operatör arasındaki iletişimi kuvvetlendirmek amacıyla farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri kuvvet geri beslemeli tele-operasyondur. 2002 yılında yapılan bir çalışmada, robotun üzerine eklenen ultrasonik algılayıcılarla çevredeki engeller algılanmış, ve operatörün robotu yönlendirmek için de kullandığı haptik bir cihazla bu engelleri kuvvet geri beslemesi yoluyla hissetmesi sağlanmıştır [9]. Aynı yıl yapılan bir diğer çalışmada, internet üzerinden kontrol edilen bir mobil robot üzerine eklenen kuvvet algılayıcısından alınan robot ile etkileştiği engeller arasındaki kuvvet bilgisi operatöre kuvvet geri besleme özellikli bir yönetim kolu ile aktarılmıştır [10]. Bazı araştırmacılar robotun çevresindeki engelleri algılayıp robotun bu engellerden kaçınmasını otonom olarak gerçekleştirmektedir. Bu tip bir çalışmada, robot seyir halindeyken beklenmedik bir engelle karşılaşması durumunda, tele-operasyon modundan çıkıp otonom bir şekilde engelden kaçınan bir engelden kaçınma stratejisi geliştirilmiştir [11].

Bu çalışmada, tümyönlü tekerlekli sınırsız çalışma alanlı bir tele-operasyon sistemi tasarlanmış ve tasarlanan sistem için iki farklı engelden kaçınma algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmalar oluşturulan test düzeneğinde sınanmıştır. Bildirinin ikinci bölümünde tasarlanan tele-operasyon sistemi, kullanılan cihazlar ve metodlar anlatılmıştır. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde, tele-operasyon sisteminde kullanılan mobil robotun hareket denklemleri ve geliştirilen engelden kaçınma algoritmaları açıklanmıştır. Beşinci bölümde, geliştirilen engelden kaçınma algoritmalarının test sonuçlarına yer verilmiştir. Son bölümde sonuçlar irdelenmiş ve gelecekte yapılacak çalışmalar özetlenmiştir.

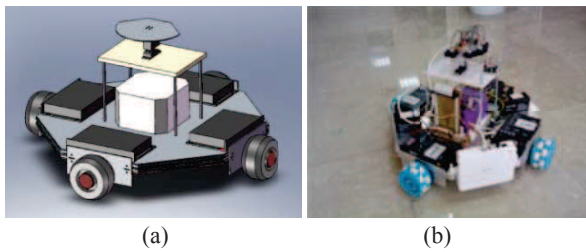
2. Sınırsız Çalışma Alanlı Tele-operasyon Sistemi

Bir tele-operasyon sistemi, biri ana (master) diğeri bağımlı olmak üzere iki alt sistemden meydana gelmektedir. Sınırsız çalışma alanlı tele-operasyonda bağımlı alt sistem olarak mobil robotlar kullanılabilir. Bu çalışmada kullanılan mobil robot tümyönlü hareket edebilecek nitelikte iç ortam kara aracı olarak tasarlanmış, ayrıca bağımlı alt sistem ile ana alt sistem arasındaki iletişim hattı kablosuz olarak sağlanmıştır. Teleoperasyon sistem şeması Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1: Tele-operasyon sistem şeması

Şekil 2'de CAD modeli ve ilk prototipi görülen mobil robot kare konfigürasyonlu olarak tasarlanmış ve şase genişliği ve uzunluğu 0.5 m olarak belirlenmiştir. Robotun şasesi sekizgendir ve alüminyum sigma profilden imal edilmiş olup bir kenar uzunluğu 0.207 m'dir. Robotun tasarımında birbirlerine göre 90 derece açıyla yerleştirilmiş 4 adet Kornylak marka tümyönlü tekerlek kullanılmıştır. Bu tekerlekler dönüş eksenine dik yerleştirilmiş pasif silindirel sayesinde tümyönlü harekete olanak vermektedirler. Tümyönlü tekerleklerin kullanıldığı mobil robotlar genellikle - iki eksenle doğrusal hareket ve aracın merkezi etrafındaki dönüş üç tekerlekle sağlanabildiği için - üçgen yapıda tasarlanmaktadır. Bu çalışmada, mobil robotun denetimini kolaylaştırmak amacıyla ve tele-operasyon sırasında herhangi bir tekerlekte oluşabilecek bir probleme karşı daha hataya toleranslı bir yapı oluşturmak için kare düzeninde dört tekerlekli sistem seçilmiştir.

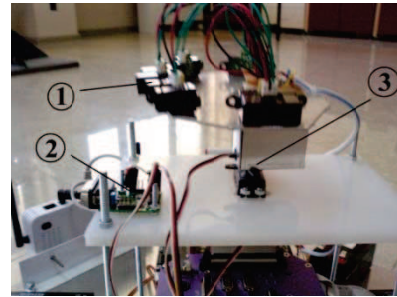


Şekil 2: (a) Mobil robotun CAD modeli, (b) İlk prototip

Tekerleklerin hareketi 4 adet 24V DC motor ve Maxon ADS 50/10 motor sürücüleriyle sağlanmaktadır. Robotun enerji gereksinimi 2 adet 12V 1.3 Ah/ 20 Hr kuru akünün paralel bağlanmasıyla karşılanmaktadır. Mobil robotta veri değerlendirme birimi olarak Diamond System Cooperation tarafından üretilmiş Prometheus PC104 standardındaki endüstriyel bilgisayar ve veri aktarım birimi olarak ise Prometheus sistemi üzerinde birlikte gelen veri toplama kartı kullanılmıştır. Ana sistem ile mobil robot arasındaki kablosuz iletişim robot üzerine yerleştirilen kablosuz modem yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kuvvet geri beslemeli

engelden kaçınma testlerinde Logitech Force 3D Pro kuvvet geri beslemeli yönetme kolu kullanılmıştır. Ayrıca, sistemin denetimi Matlab Simulink ile xPC Target Toolbox kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemin denetim ve engel kaçınma algoritmaları hedef bilgisayar içine gömülmüştür.

Birçok çalışmada araştırmacılar algılayıcıları robotun çevresi boyunca yerleştirerek engel algılamanın robotun tüm çevresini kapsamasını sağlamaktadırlar. Bu da çok sayıda algılayıcı ihtiyacı doğurduğundan maliyeti artırmaktadır. Bu çalışmada, robotun hareket kabiliyetine uygun olarak dinamik engel kaçınma sistemi tasarlanmıştır (Şekil 3). Tasarlanan sistemde, 2 adet servo motor üzerine yerleştirilmiş algılayıcıların bakış açısı robotun hareket yönüne göre ayarlanmaktadır. Bu sayede 5 adet SHARP GP2Y0A02YK0F kızılötesi mesafe algılayıcı ile robotun tüm çevresi kapsanabilmektedir.



Şekil 3: Dinamik engel kaçınma sistemi (1) Kızılötesi mesafe algılayıcıları (2) Servo motor kontrol kartı (3) Servo motorlar

3. Hareket Denklemleri

Mobil robotun hareketinin açık çevrim kinematik denetleyicisi ile denetleneceği göz önünde tutularak robotun hareket denklemleri oluşturulmuştur. Bu durumda sadece hız seviyesinde kinematik analiz yapılmış ve çalışmanın bu safhasında yapılan kabullerle tekerlek hızları ve motorlara beslenen voltaj arasında doğrusal bir ilişki kurulmuştur.

Şekil 4'te mobil robotun global koordinat sistemine (x, y) göre konumu görülmektedir. Şekilde, mobil robotun global koordinat sistemine göre oryantasyonu θ ile, tekerleklerin çizgisel hızları V_i ile, tekerleklerin açısal hızları ω_i ile gösterilmiştir ($i=1,2,3,4$). Hareket denklemleri bulunurken mobil robotun ağırlık merkezinin şasinin merkezinde olduğu, bütün tekerleklerin ağırlık merkezine uzaklığının aynı olduğu ($L_1=L_2=L_3=L_4=L$) ve tekerleklerle zemin arasında kayma gerçekleşmediği kabulleri yapılmıştır.

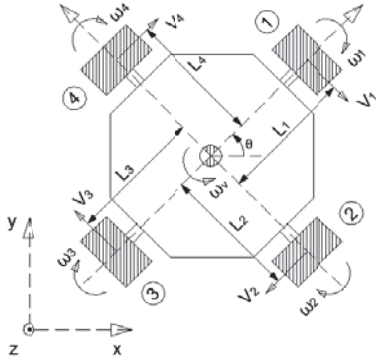
Robotun global koordinat sistemine göre hız denklemleri

$$V_x = V_1 \cdot \sin\theta - V_3 \cdot \sin\theta - V_2 \cdot \cos\theta + V_4 \cdot \cos\theta \quad (1)$$

$$V_y = -V_1 \cdot \cos\theta + V_3 \cdot \cos\theta - V_2 \cdot \sin\theta + V_4 \cdot \sin\theta \quad (2)$$

$$\omega_v = -(V_1 + V_2 + V_3 + V_4)/L \quad (3)$$

şeklinde.



Şekil 4: Mobil robotun geometrisi

(1), (2), ve (3) numaralı denklemlerde robotun x eksenindeki hızı V_x ile, y eksenindeki hızı V_y ile, ağırlık merkezi etrafındaki açılı hızı ω_v ile gösterilmiştir. Hesaplarda kolaylık sağlaması amacıyla (3) numaralı denklemdeki açılı hız eşitliğinin her iki tarafı da $-L$ ile çarpılarak, mobil robotun global koordinat sisteminde tanımlanan hızı için düz kinematik çözümden Jacobi matrisi;

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ -\omega_v \cdot L \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$J = \begin{bmatrix} \sin\theta & -\cos\theta & -\sin\theta & \cos\theta \\ -\cos\theta & -\sin\theta & \cos\theta & \sin\theta \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

olarak bulunur.

Üç tümyönlü tekerlek ile düzlemdeki bütün olası hareketler yapılabilirken, bu çalışmada dört tekerlek kullanılması sonucu robot bir artıksıl robot olarak oluşturulmuştur. Bunun sonucu olarak, Jacobi matrisi kare matrisi olmadığı için tersini alıp tekerlek hızlarını global koordinatlara göre bulmak mümkün değildir. Bu yüzden tekerlek hızları, en düşük normunu verecek Jacobi matrisinin sözde tersini kullanarak aşağıdaki denklemler ile bulunmuştur.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = J^+ \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ -\omega_v \cdot L \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$J^+ = J^T (J J^T)^{-1} \quad (7)$$

$$J^+ = J^T (J J^T)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,5 \sin\theta & -0,5 \cos\theta & 0,25 \\ -0,5 \cos\theta & -0,5 \sin\theta & 0,25 \\ -0,5 \sin\theta & 0,5 \cos\theta & 0,25 \\ 0,5 \cos\theta & 0,5 \sin\theta & 0,25 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 \sin\theta & -0,5 \cos\theta & 0,25 \\ -0,5 \cos\theta & -0,5 \sin\theta & 0,25 \\ -0,5 \sin\theta & 0,5 \cos\theta & 0,25 \\ 0,5 \cos\theta & 0,5 \sin\theta & 0,25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ -\omega_v \cdot L \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$V_1 = 0,5 \cdot V_x \cdot \sin\theta - 0,5 \cdot V_y \cdot \cos\theta - 0,25 \cdot \omega_v \cdot L \quad (10)$$

$$V_2 = -0,5 \cdot V_x \cdot \cos\theta - 0,5 \cdot V_y \cdot \sin\theta - 0,25 \cdot \omega_v \cdot L \quad (11)$$

$$V_3 = -0,5 \cdot V_x \cdot \sin\theta + 0,5 \cdot V_y \cdot \cos\theta - 0,25 \cdot \omega_v \cdot L \quad (12)$$

$$V_4 = 0,5 \cdot V_x \cdot \cos\theta + 0,5 \cdot V_y \cdot \sin\theta - 0,25 \cdot \omega_v \cdot L \quad (13)$$

Ayrıca mobil robotun, ana sistemden gönderilen hız isteğine göre tekerleklerin açılı hızları şu şekilde bulunabilir;

$$\omega_i = V_i / r. \quad (14)$$

(14) numaralı denklemde, tekerlek yarıçapı r ile gösterilmiştir ve bütün tekerlekler için aynı olduğu kabul edilmiştir. Tekereklere bağlanan motorlar 24 V değerine karşılık 3030 dev/dak ile dönmektedir. Kullanılan motorların üzerinde redüktörlerin çevrim oranı 1/20.5 ve tekerlek çapı 10 cm olduğundan, tekerleğin 24 V'a karşılık gelen çizgisel hızı şu şekilde hesaplanabilir;

$$V_{i24} = (3030/20.5) \cdot \pi \cdot 10 = 1506 \text{ cm/dk} = 0,251 \text{ m/s}. \quad (15)$$

DC motorlara uygulanan voltaj ile dönüş hızı arasında doğrusal bir bağıntı olduğu kabul edilerek istenen çizgisel tekerlek hızları için gerekli voltaj değeri;

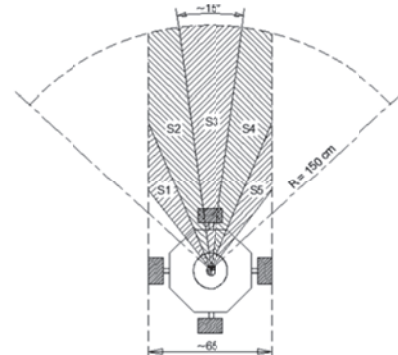
$$e_i = (V_i/V_{i24}) \cdot 24 \quad (16)$$

olarak bulunur. Denklem (16)'da istenen çizgisel tekerlek hızları için gerekli voltaj değerleri e_i ile gösterilmiştir.

4. Engelden Kaçınma

Robotun çevresindeki engelleri algılayıp çarpışmadan kaçınması için robotun çevresi, tam bir dönüş aralığını taraması için 180°'lik dönüş aralığı olan 2 adet servo motor üzerine yerleştirilmiş, 5 adet kızılötesi mesafe ölçer algılayıcıyla taranmaktadır. Kullanılan algılayıcılar en çok 150 cm'ye kadar mesafe ölçümü yapabilmektedir ve en yüksek algılama açıları 15°'dir. Bundan dolayı, robotun hareketi yönündeki robot genişliği kadar olan kritik alan, en az 5 adet algılayıcı kullanılarak kapsanabilmektedir. Yerleştirilen her algılayıcının kapsama alanları Şekil 5'te görülmektedir (S_i , $i = 1,2,3,4,5$). Robotun hareketi sırasında karşılaştığı engelden kaçınabilmesi için

- yarı otonom engelden kaçınma algoritması,
- ve kuvvet geri beslemeli engelden kaçınma algoritması tasarlanmıştır.



Şekil 5: Kızılötesi algılayıcıların kapsama alanları

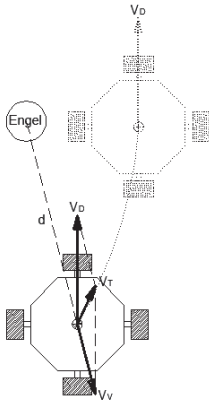
4.1. Yarı Otonom Engelden Kaçınma

Bu algoritmada, robot ana sistemden gönderilen hız isteğine göre sürülürken, beklenmedik bir engelle karşılaştığı takdirde, robot ile algılayıcılar tarafından algılanan engel arasındaki uzaklık ve robotun seyir halindeki hızına göre bir sanal hız vektörü oluşturulmaktadır. Daha sonra robot engelden uzaklaşana kadar, istenen hız vektörü, V_D , ve algoritma tarafından oluşturulan sanal hız vektörünün, V_V , toplamı olan vektör yönünde, V_T , hareketini sürdürür. Engelden kaçınma işlemi bittikten sonra robot ana sistemden gönderilen istek yönünde hareketine devam eder. Sanal hız şu şekilde hesaplanır;

$$V_V = V_D \cdot (t - d) / t \quad (17)$$

$$V_V = \begin{cases} V_D \cdot (t - d) / t, & d < t \text{ iken} \\ 0, & \text{yoksa} \end{cases} \quad (18)$$

(17) ve (18) denklemlerinde, sanal hızın oluşturulmaya başlanması için gerekli eşik değeri t ile, algılayıcılar tarafından okunan - robot ile engel arasındaki - mesafe d ile gösterilmiştir. Eğer robot ile engel arasındaki mesafe eşik değerinden küçük ise sanal hız oluşturulmakta diğer durumlarda sanal hız *sıfır* olmaktadır.



Şekil 6: Yarı otonom engelden kaçınma şeması

4.2. Kuvvet Geri Beslemeli Engelden Kaçınma

Bu algoritmada, yarı otonomdan farklı olarak, engel ile robot arasındaki mesafe bilgisine göre bir sanal kuvvet, F_v , oluşturulmakta ve bu kuvvet bilgisi bağımlı alt sistemden ana alt sistemine kuvvet geri beslemesi bilgisi olarak iletilmektedir. Daha sonra, bu kuvvet bilgisi, robotu kontrol eden operatöre kuvvet geri besleme özellikli bir yönetme kolu ile aktarılmaktadır. Bu sayede operatör, engeli ve engele olan mesafe bilgisini mesafeye göre değişen kuvvet iletimi ile algılayabilmekte ve çarpışmayı engelleyecek şekilde robotu yönlendirebilmektedir. Bu algoritmada sanal kuvvet robot ile engel arasına sanal bir yay yerleştirilmesi ile aşağıdaki denklemle hesaplanabilir;

$$F_v = k \cdot d / t \quad (19)$$

$$F_v = \begin{cases} k \cdot d / t, & d < t \text{ iken} \\ 0, & \text{yoksa} \end{cases} \quad (20)$$

Denklem (19) ve (20)'de, sanal yay katsayısı k ile gösterilmiştir. Yarı otonom engelden kaçınma algoritmasında olduğu gibi, robot ile engel arasındaki mesafe, d , eşik değerinden, t , küçük olduğu takdirde sanal kuvvet oluşturulmakta diğer durumlarda sanal kuvvet *sıfır* olmaktadır.

5. Engelden Kaçınma Testleri

Her iki engelden kaçınma testinde, robota operatör tarafından ileri gitme komutu gönderilmiş ve robotun farklı yönlerden yaklaştığı engellerden kaçınması istenmiştir. Yarı otonom engelden kaçınma testleri sırasında robotun engelden kaçınırken izlediği güzergâh, robot üzerine yerleştirilen beyaz tahta kaleminin yerde bıraktığı iz, zemindeki karoların boyutları referans alınarak sayısallaştırılmasıyla belirlenmiştir. Tüm engelden kaçınma testlerinde engel olarak çapı 30,5 cm olan dairesel kesitli çöp kovası kullanılmıştır. Testlerde kullanılan engel ve robotun güzergâhını gösteren beyaz tahta kaleminin zeminde bıraktığı iz Şekil 7'de görülebilmektedir.

Kuvvet geri beslemeli engelden kaçınma testlerinde, engele farklı yönlerden yaklaşan robotun kuvvet geri beslemeli engelden kaçınma algoritması tarafından oluşturulan sanal kuvvetin yönü ve kuvvetin büyüklüğü gözlemlenmiştir.

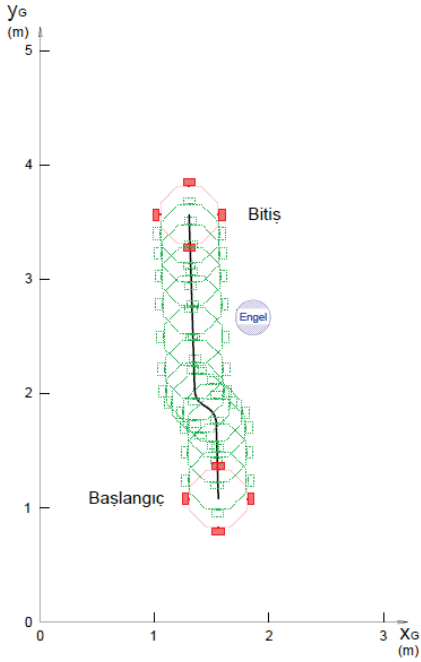


Şekil 7: Yarı otonom engelden kaçınma testi

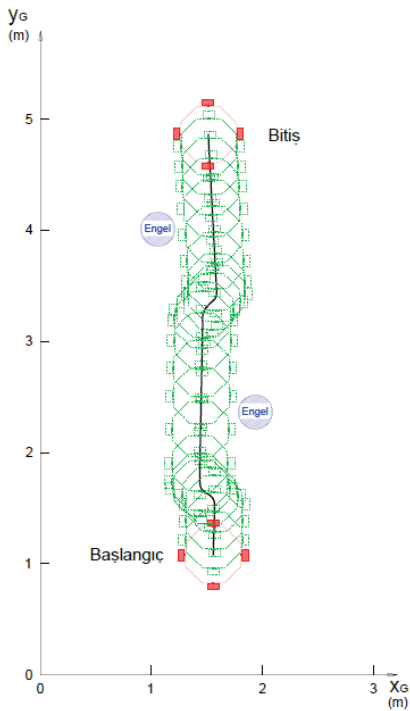
5.1. Yarı Otonom Engel Kaçınma Algoritması Test Sonuçları

Yarı otonom engelden kaçınma testleri üç farklı senaryoya göre gerçekleştirilmiştir. İlk senaryoda robot seyir halindeyken robotun sağ tarafında kalan bir engelden kaçınması istenmiştir. Robotun bu senaryoda izlediği güzergâh Şekil 8'de görülebilmektedir. Robot düz bir güzergâhta giderken engel ilk önce 4 numaralı algılayıcının kapsama alanına girmekte ve bu algılayıcı tarafından ölçülen mesafe bilgisine ve robotun seyir hızına göre sanal hız vektörü oluşturulmaktadır. Daha sonra robot istenen hız ile sanal hızın toplamı yönünde bir miktar sola kaymaktadır. Robotun sola doğru olan hareketiyle engel 5 numaralı algılayıcının kapsama alanına girmekte ve sanal hız iki

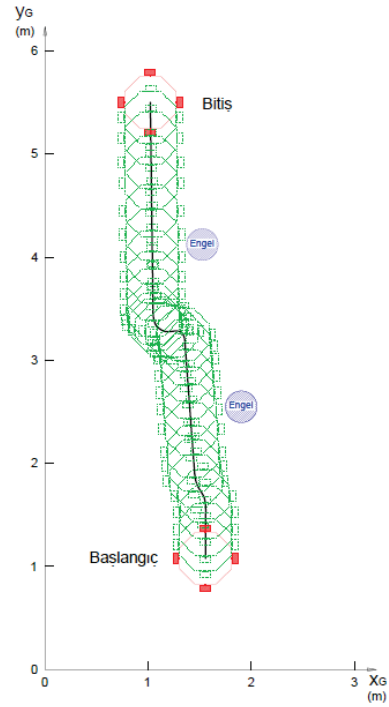
algılayıcıdan alınan bilgiye göre yeniden düzenlenmektedir. Engel hiçbir algılayıcının kapsama alanına girmeyene kadar, robot sola doğru kaymaya devam eder. Engel, algılayıcıların kapsama alanından çıktıktan sonra, robot istenen yöndeki hareketine devam edebilir. Diğer iki senaryoda robotun, farklı olarak yerleştirilmiş iki adet engelden kaçınması istenmiştir. İkinci ve üçüncü senaryolarda robotun izlediği güzergâh Şekil 9 ve 10 da görülmektedir.



Şekil 8: Robotun ilk senaryoda izlediği güzergâh



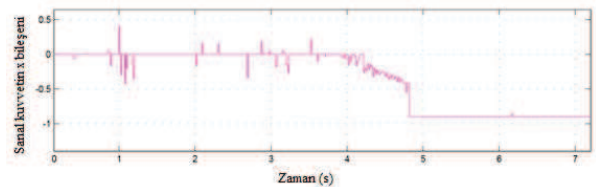
Şekil 9: Robotun ikinci senaryoda izlediği güzergâh



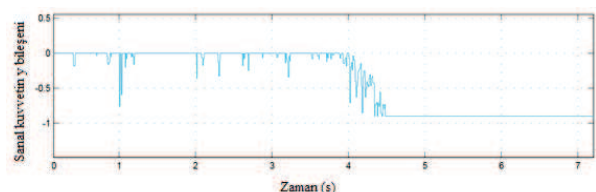
Şekil 10: Robotun üçüncü senaryoda izlediği güzergâh

5.2. Kuvvet Geri Beslemeli Engelden Kaçınma Testleri

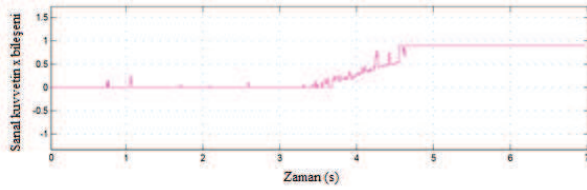
Kuvvet geri beslemeli engelden kaçınma algoritmasında, engelin robota göre yönüne ve mesafesine göre oluşturulan sanal kuvvet iki farklı şekilde test edilmiştir. İlk testte 4 ve 5 numaralı algılayıcıların, ikinci testte ise 1 ve 2 numaralı algılayıcının kapsama alanına giren bir engelin robot ile arasındaki mesafeye göre oluşturulan sanal kuvvetin yönü büyüklüğünün değişimi gözlenmiştir. İlk testte, engel robot ileri giderken robotun sağında yer alırken, ikinci testte solunda durmaktadır. Oluşturulan sanal kuvvetin x -bileşeninin yönü ilk testte robot engele yaklaşırken negatif (-) yönde artmaktayken ikinci testte pozitif (+) yönde artış göstermektedir. Oluşturulan sanal kuvvetin test sonuçları Şekil 11'deki çizelgelerde verilmiştir.



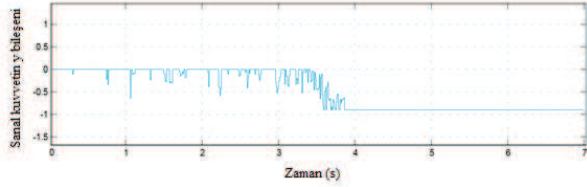
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 11: Sanal kuvvetin ilk testteki (a) x- (b) y-; ikinci testteki (c) x- (d) y- bileşeninin zamana göre değişimi

6. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, bağımlı alt sistemi tümyönlü hareket edebilen bir mobil kara aracı olan, sınırsız çalışma alanlı tele-operasyon sistemi tasarlanmıştır. Birçok çalışmada gözlemlendiği üzere, engelden kaçınma, tümyönlü kara araçlarında, aracın çevresi boyunca yerleştirilen algılayıcılar yardımıyla yapılabilmektedir. Bu çalışmada, geliştirilen sisteme uygun olarak algılayıcı kullanımını azaltan dinamik engel kaçınma sistemi tasarlanmıştır. Bağımlı alt sistem için iki farklı engelden kaçınma algoritması geliştirilmiş ve test edilmiştir. Testler sonucunda dinamik engelden kaçınma sistemi sayesinde mobil robot engelleri algılayıp engellerden kaçınabilmektedir. Testlerde kullanılan kızılötesi mesafe algılayıcıların verdiği analog sinyaldeki sıçramalar yarı otonom engelden kaçınma için sorun teşkil etmese de, kuvvet geribeslemeli engelden kaçınma testlerinde sanal yay ile oluşturulan kuvvette yüksek seviyede gürültüye sebep olmuştur. Bu nedenle çalışmanın ilerleyen safhalarında kuvvet geri beslemeli engelden kaçınma testleri ultrasonik mesafe algılayıcıları kullanılarak ve sanal yay yerine sanal yay-sönümleyici çifti kullanılarak da tekrar edilecektir.

Testler sırasında gözlenen bir diğer sorun ise, robotun otonom engelden kaçınma sırasında, tekerlekler ile zemin arasında iyi bir tutuşun sağlanamamasından kaynaklı robotun yöneliminin değişmesidir. Bunun temel sebebi kinematik denetleyici algoritmasının açık çevrimli olmasıdır. İleriki çalışmalarda mobil robotun denetleyicisi, eklenecek ivmeölçer ve açısal hız (gyroscope) algılayıcıları ile, kapalı çevrim haline getirilerek dış bozuculara duysuz bir sürüş denetimi sağlanacaktır. İki engelden kaçınma algoritmasının aynı anda kullanılması ileriki çalışmalarda sınanacaktır.

7. Teşekkür

This research was supported by a Marie Curie International Reintegration Grant within the 7th European Community Framework Programme.

8. Kaynakça

- [1] Sakagami N., Shibata M., Hashizume H., Hagiwara Y., Ishimaru K., Ueda T., Saitou T., Fujita K., Kawamura S., Inoue T., Onishi H., Murakami S., 2010, Development of a Human-Sized ROV with Dual-Arm, IEEE,
- [2] Cheng S.-W., Rapid Deployment UAV, Aerospace Conference, 2008 IEEE
- [3] Han K.-L., Choi O.-K., Kim J., Kim H., Lee J. S., 2009, Design and Control of Mobile Robot with Mecanum Wheel, ICROS-SICE International Joint Conference, August 18-21, Fukuoka International Congress Center, Japan
- [4] Wada M., 2008, Mechanism and Control of a 4WD Robotic Platform for Omnidirectional Wheelchairs, The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, October 11-15, St. Louis, USA
- [5] Tsai C.-C., Wu Z.-R., Wang Z.-C., Hisu M.-F., Wang Z.-C., 2010, Adaptive Dynamic Motion Controller Design for a Four-Wheeled Omnidirectional Mobile Robot, International Conference of Systems Science and Engineering, ICSEE 2010
- [6] Purwin O., D'Andrea R., Trajectory Generation and Control for Four Wheeled Omnidirectional Vehicles, Robotics and Autonomous Systems 54 (2006) 13–22
- [7] Takemura Y., Ogawa Y., Nassiraei A.A.F., Sanada A., Kitazumi Y., Godler I., Ishii K., Miyamoto H., System Design Concept Based on Omni-Directional Mobility, Safety and Modularity for an Autonomous Mobile Soccer Robot, Journal of Bionic Engineering Suppl. (2008) 121–129
- [8] Tadakuma K., Tadakuma R., Berengeres J., Development of Holonomic Omnidirectional Vehicle with “Omni-Ball”: Spherical Wheels, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems San Diego, CA, USA, Oct 29 - Nov 2, 2007
- [9] Diolaiti N., Melchiorri C., Tele-Operation of a Mobile Robot through Haptic Feedback, IEEE Int. Workshop on Haptic Virtual Environments and Their Applications Ottawa, Ontario, Canada, 17-18 November 2002
- [10] Rösch O. J., Schilling K., Roth H., Haptic interfaces for the remote control of mobile robots, Control Engineering Practice 10 (2002) 1309–1313
- [11] Kim S.-H., Rohl C.-W., Kang S.-C., Park M.-Y., A Hybrid Autonomous / Teleoperated Strategy for Reliable Mobile Robot Outdoor Navigation, SICE-ICASE International Joint Conference, Oct. 18-21, 2006 in Bexco, Busan, Korea