

OTOMATİK ARAÇ PARK ETME SİSTEMİ

Proje Sahibi: Sinan ÖNCÜ

Proje Danışmanı: Doç. Dr. Mürvet Üçer

Haziran 2005

1 GİRİŞ

Bu projede araba biçimli mobil bir robot üzerinde paralel park etme sorununun çözümüne yönelik bir çalışma yapılmıştır. Projede, gerçek arabalar üzerine de entegrasyonu mümkün olan bir park yardımcı sistemi geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Otonom olarak paralel park etme; çevresel koşulların algılanması, bu koşullara uygun dinamik yolların hesaplanması ve aracın bu yolları takip ederek gerekli manevraları gerçekleştirmesini gerektirmektedir.

Sistem üç aşamada çalışmaktadır. Tarama aşamasında araç potansiyel park alanlarının bulunduğu bir ortamda düşük hızda ilerleyerek üzerinde yer alan algılayıcılar yardımıyla çevresel veriyi toplamakta ve kendi boyutlarına uygun bir park alanını tespit etmektedir.

Başlangıç aşamasında araç park manevralarına başlayacağı uygun hedef koordinatları dinamik olarak hesaplamakta ve işaretlediği bu koordinatlara hareket etmektedir. Son olarak park etme aşamasında araç park etme işlemi sonunda bulunmak istediği koordinatları işaretlemekte ve uygun manevraları gerçekleyerek bu alan içerisine çarpışmasız olarak park etmektedir.

Bu yöntemin uygulanmasında verilerin toplanması ve dinamik olarak değişen çevresel koşullara uyum sağlanması amacıyla kapalı çevrim kontrolleri kullanılmıştır. Aracın tespit edilmiş hedef koordinatlarda konumlandırılabilmesi içinse yazılımsal bir matematiksel model ve açık çevrim kontroller kullanılmıştır.

Proje iki aşamada gerçekleşmiştir. İlk olarak, yukarıda tarif edilen paralel park etme algoritmasının sınanması ve aracın matematiksel kinematik modelinin sayısal ortama taşınması amacıyla bilgisayar ortamında görsel bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Projenin ikinci aşaması, simülasyon sonucunda doğrulanan yaklaşımın 1/10 ölçekli bir araba modeli üzerinde donanımsal olarak gerçekleştirilmesini içermektedir.

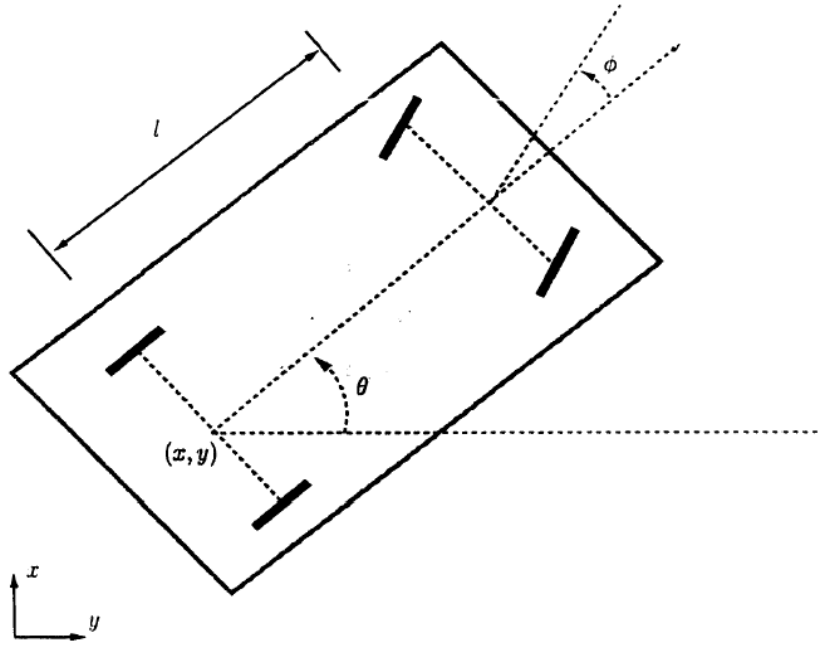
2 TEORİ

Bu bölümde projenin gerçekleşmesinde kullanılan yöntemlere ilişkin teorik altyapı kısaca özetlenmektedir. Bunlar, araba biçimli bir cismin fiziksel – kinematik olarak modellenmesi ve dinamik yolların hesaplanmasında kullanılan sinüsoidal arklar metodudur.

2.1 Araba Modeli

2.1.1 Araba Kinematik Modeli

Araba Şekil 2 ‘de görüldüğü gibi dört tekerlekli bir araçtır. Hareket arka tekerler tarafından sağlanmaktadır. Manevralar ise ön tekerlerin bağlı olduğu direksiyon sistemi tarafından sağlanır. Araba biçimli bir sistemin sınırlarını bu özellikler belirler. Bu özellikler sebebiyle araba holonomik olmayan sistemlere bir örnektir.



Şekil 1

İki boyutlu koordinatlar kümesinde arabanın konumu şekilde görülen (x,y,θ) parametreleri ile tanımlanmaktadır. Burada x ve y arabanın arka aksının orta noktasının koordinatlarını ve θ ise aracın konum açısını ifade etmektedir.

Başlangıç koordinatları (x,y,θ) , direksiyon açısı (ϕ) ve aks mesafesi (l) bilinen bir arabanın v hızıyla hareketi sonucunda bulunacağı koordinatlar aşağıda verilen formüllerle hesaplanabilmektedir:

$$\begin{aligned}x' &= x + dx/dt \\y' &= y + dy/dt \\ \theta' &= \theta + d\theta/dt\end{aligned}$$

x' : x-ekseni üzerinde yeni koordinat
 y' : y-ekseni üzerinde yeni koordinat
 θ' : yeni konum açısı

Burada:

$$\begin{aligned}dx/dt &= v \cos \phi \cos \theta \\ dy/dt &= v \cos \phi \sin \theta \\ d\theta/dt &= v \sin \phi / l\end{aligned}$$

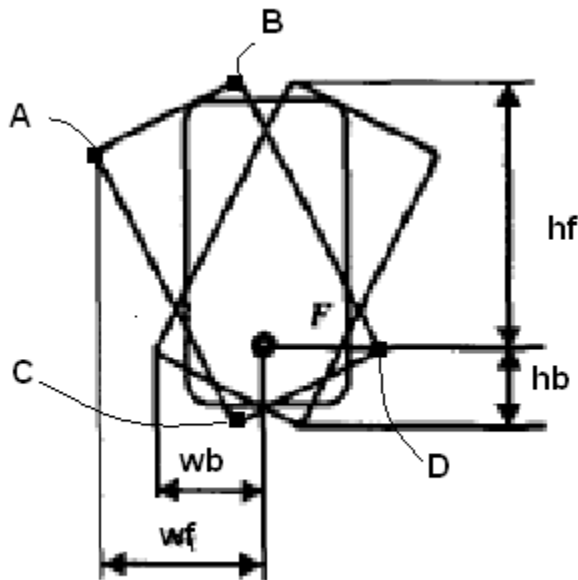
v : aracın hızı
 ϕ : aracın direksiyon açısı
 θ : aracın konum açısı
 l : aracın aks mesafesi

Bu ifadeler arabanın düz zeminde kayma etkilerinin ihmal edilebilir seviyede tutulabileceği düşük bir hızda seyretmesi halinde geçerlidir.

Yukarıda anlatılan kinematik model yardımıyla aracın bilinen bir konumdan hareketle belli bir direksiyon açısı ve hızla gerçekleştirdiği hareket sonucunda ulaşacağı konum öngörülebilmektedir.

2.1.2 Kritik Noktaların Modellenmesi

Bu projenin kapsamında incelenen paralel park etme senaryosunda bir çarpışmanın en yüksek ihtimalle gerçekleşebileceği aracın köşe noktalarının modellenmesi de büyük önem taşımaktadır. Aracın bir hareketi gerçekleştirmesinin ardından bu noktaların nerede konumlanabileceğini bilmesi oluşabilecek çarpışmaları önlemek açısından önem taşımaktadır. Bu noktaların, hareket halinde olan (x,y,θ) koordinatlarına sahip referans noktasına göre yer aldıkları koordinatlar aşağıdaki ifadelerle hesaplanabilmektedir:



a : ½ araç uzunluğu

b : ½ araç genişliği

F : referans noktası $F (F_x, F_y)$

$A(A_x, A_y);$

$B(B_x, B_y);$

$C(C_x, C_y);$

$D(D_x, D_y);$

köşe noktaları

Şekil 2

$$\begin{aligned} hf &= b \cdot \sin(\theta) + (a+l/2) \cdot \cos(\theta); \\ hb &= b \cdot \sin(\theta) + (a-l/2) \cdot \cos(\theta); \\ wf &= b \cdot \cos(\theta) + (a+l/2) \cdot \sin(\theta); \\ wb &= b \cdot \cos(\theta) + (a-l/2) \cdot \sin(\theta); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fy &= fy; \\ Fx &= fx; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ay &= fy - hf + \sin(\theta) \cdot 2 \cdot b; \\ Ax &= fx - wf; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} By &= fy - hf; \\ Bx &= fx - wf + \cos(\theta) \cdot 2 \cdot b; \end{aligned}$$

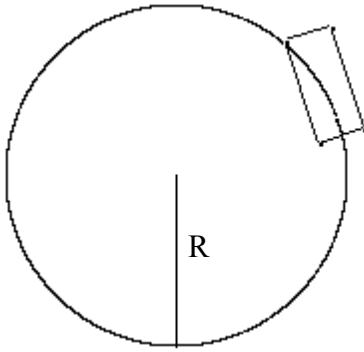
$$\begin{aligned} Cy &= fy + hb; \\ Cx &= fx - wf + 2 \cdot a \cdot \cos(\pi/2 - \theta); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Dy &= fy + hb - 2 \cdot b \cdot \sin(\theta); \\ Dx &= fx - wf + 2 \cdot a \cdot \cos(\pi/2 - \theta) + 2 \cdot b \cdot \sin(\pi/2 - \theta); \end{aligned}$$

Bu noktalar aracın her hareketinden sonra referans noktasının yeni koordinatları ve konum açısı göz önüne alınarak yeniden tarif edilmektedir.

2.2 Sinüsoidal Arklar Yöntemiyle Dinamik Yolların Hesaplanması

Bu çalışmanın konusu olan paralel park etme problemi esasında bir yanal yer değiştirme sorunudur. Farklı mesafelerde yanal yer değiştirmeler sinüsoidal arklar yöntemiyle dinamik olarak hesap edilmektedir.

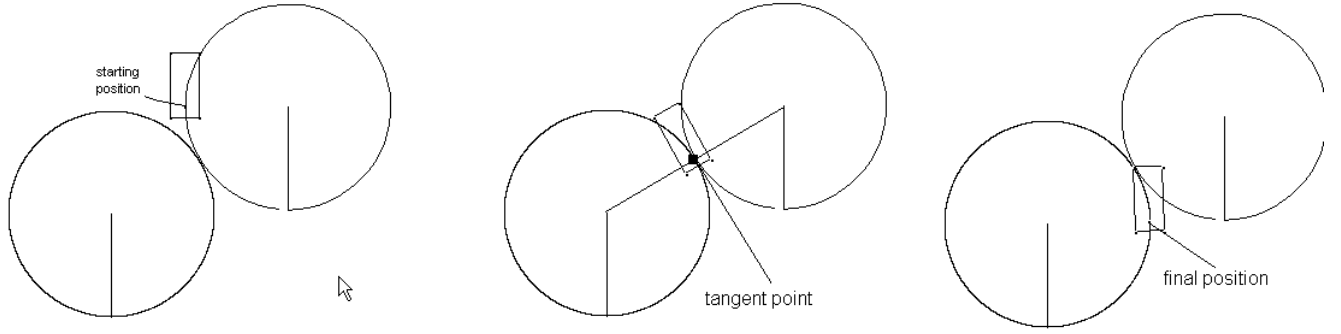


Şekil 3

Sabit bir hız ve direksiyon açısıyla hareket eden bir araba dairesel bir yörünge çizmektedir. Bu dairenin yarıçapı aracın manevra yeteneğini ifade eder. Şekil 3’ te görülmekte olan R yarıçapı direksiyon açısı maksimum değerini aldığı minimum değerini alır ve aşağıdaki eşitliklerle hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} R_{\min} &= l / \tan(\phi_{\max}); \\ \phi_{\max} &: \text{maximum direksiyon açısı} \end{aligned}$$

Belli bir direksiyon açısıyla oluşan bu dairesel yörüngeler aşağıdaki şekilde (Şekil 4) görülebildiği üzere yanal değiştirme ile sonuçlanacak bir sinüsoidal ark oluşturmakta kullanılabilir.



Şekil 4

Şekil 4’ te görüldüğü üzere araç belli bir direksiyon açısıyla ulaşabildiği yörüngeleri tarif eden daireler arasında tanjant noktalarında geçiş yaparak sinüsoidal bir arkı izlemektedir. Bu hareket yanal yer değiştirme ile sonuçlanmaktadır. Dairelerin merkezleri park etme senaryosunda elde edilen çevresel veri doğrultusunda dinamik olarak yerleştirilmekte ve robot işaretlediği hedef koordinatlara bu arkları takip ederek ulaşmaktadır.



Şekil 5’te simülasyon programı tarafından sinüsoidal arklar metodu kullanılarak dinamik olarak yaratılmış bir yol görülmektedir.

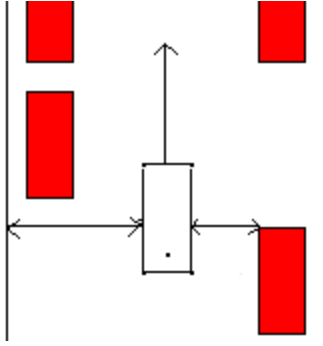
Şekil 5

3 ARABA BİÇİMLİ BİR ROBOTUN SİNÜSOİDAL ARKLAR METODU KULLANILARAK PARK EDİLMESİ

Bu bölümde araba biçimli bir robotun paralel park etme problemini çözmeye yönelik geliştirilmiş bir algoritma sunulacaktır.

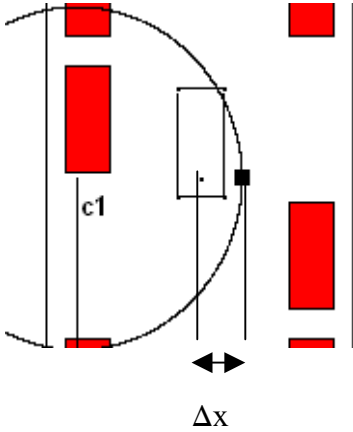
3.1 Tarama Aşaması

Tarama aşamasında kapalı çevrim kontrolleri kullanılarak çevrede yer alabilecek cisimlere çarpmadan uygun bir park alanı tespit edilmektedir. Aracın başlangıçta konumu y-eksenine paraleldir. Her hareket döngüsü +y yönünde 1 cm lik bir yer değiştirmeye karşılık gelmektedir. Direksiyon açısı da sıfır derece olduğundan x ekseninde ve aracın konum açısında değişiklik olmamaktadır.



Şekil 6

Aracın standart hareketi ileri yöndedir. Araç düşük bir hızda hareket ederek her iki yanında yer alan algılayıcılar yardımıyla uygun bir park alanı aramaktadır. Aracın ön kısmında yer alan algılayıcı bu aşamada gerçekleşmesi mümkün olan çarpışmaları önlemek amacıyla bilgi vermektedir.

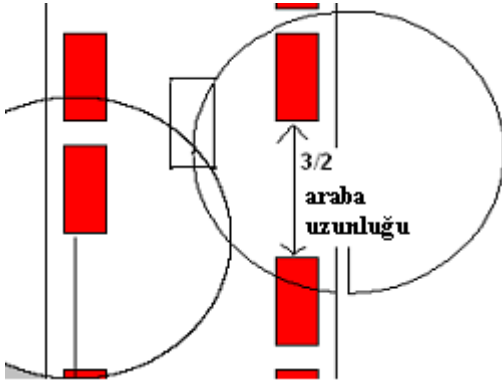


Şekil 7

Bir cm'lik bir taramaya karşılık gelen her döngünün sonucunda park alanı değişkenleri güncellenmektedir. Araba ile park halinde bulunan diğer araçlar arasındaki mesafe de kaydedilmektedir. Park alanı değişkeni aracın boyutları ile belirlenen sabit bir değeri aştığında bu nokta potansiyel bir hedef olarak işaretlenmektedir. Buna göre c1 dairesinin merkezi koordinat düzlemi üzerinde bu noktaya dik bir doğru üzerinde konumlandırılmaktadır. C1 dairesinin merkezi aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

$$\begin{aligned} c1x &= fx + \Delta x - R \\ c1y &= fy \end{aligned}$$

Δx : aracın x eksenindeki başlangıç konumuna göre toplanan çevresel veri ile hesaplanan yanal yer değiştirme miktarıdır.

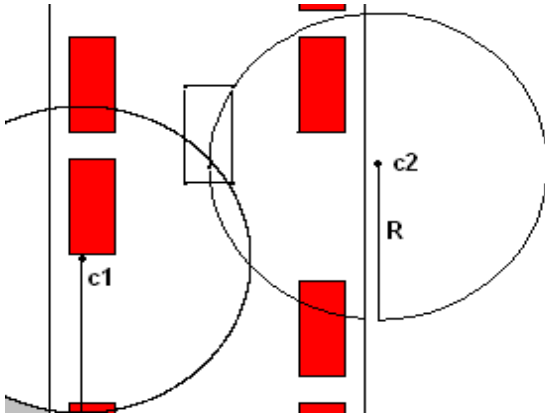


Şekil 8

Park alanı yeterli uzunluğa sahipse başlangıç aşamasına geçilir.

3.2 Başlangıç Aşaması

Yeterli park alanının tespit edilmesi halinde araba bu aşamaya geçer. Bu aşamada araba park manevralarını başlatabileceği uygun bir konuma ulaşmayı hedeflemektedir. Bu konum tarama aşamasında hedef olarak işaretlenmiş olan noktadır.

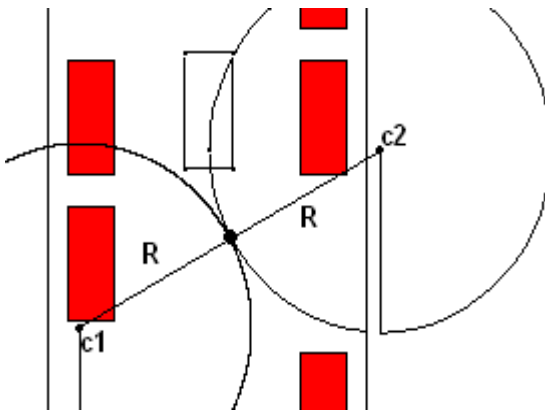


Şekil 9

İlk olarak aracın erişebileceği noktaları tarif eden diğer bir daire koordinat düzleminde tanımlanır. Bu dairenin merkezinin koordinatları:

$$\begin{aligned} c2x &= fx + R \\ c2y &= fy \end{aligned}$$

formülleri ile hesaplanır.

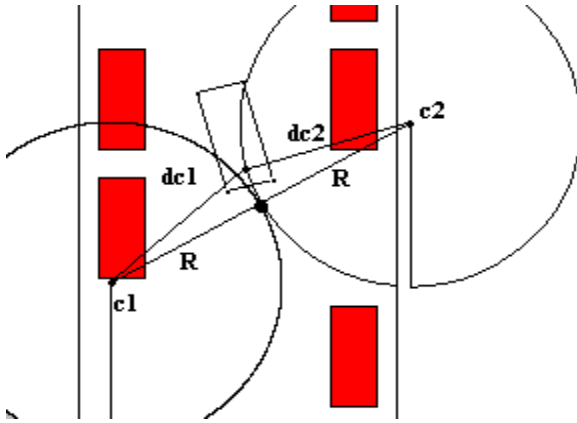


Şekil 10

Araba konumladığı bu iki dairenin tek bir noktada kesiştiği yeri bulmak üzere ileri yönde hareket eder. Bu tanjant noktasında iki dairenin merkezleri arasındaki mesafe $2 \cdot R$ olmaktadır. Bu özellik sayesinde tanjant noktası:

$$\sqrt{(c1x-c2x)^2 + (c1y-c2y)^2} = 2 \cdot R$$

formülü ile tespit edilir.

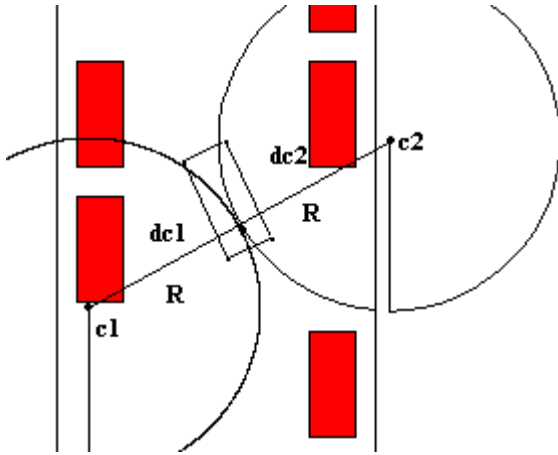


Şekil 11

Daha sonra araba belirli bir direksiyon açısıyla geri yönde hareket ederek tanjant noktasına erişmektedir. Tanjant noktasında:
 $dc1 + dc2 = 2 * R$ olacaktır.

$$dc1 = \sqrt{(fx - c1x)^2 + (fy - c1y^2)}$$

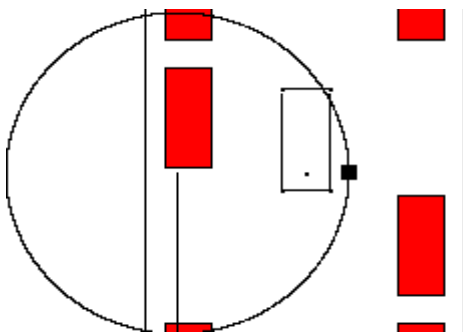
$$dc2 = \sqrt{(fx - c2x)^2 + (fy - c2y^2)}$$



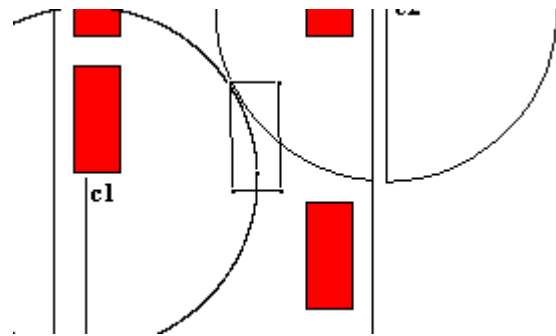
Şekil 12

Tanjant noktasına erişildiğinde c1, c2 ve F(fx, fy) aynı doğru üzerinde yer alırlar. Daha sonra araba aynı açı değeriyle ters yönde direksiyon manevrası gerçekleştirir ve böylelikle daireler arasında geçiş yaparak c1 'in oluşturduğu arkı izlemeye başlar.

Son olarak araba konum açısı yeniden y-eksenine paralel olana kadar geri yönde hareket ettirilir. Elde edilen yanıl yer değıştirme Şekil 13 a ve b'de görölmektedir.



a)

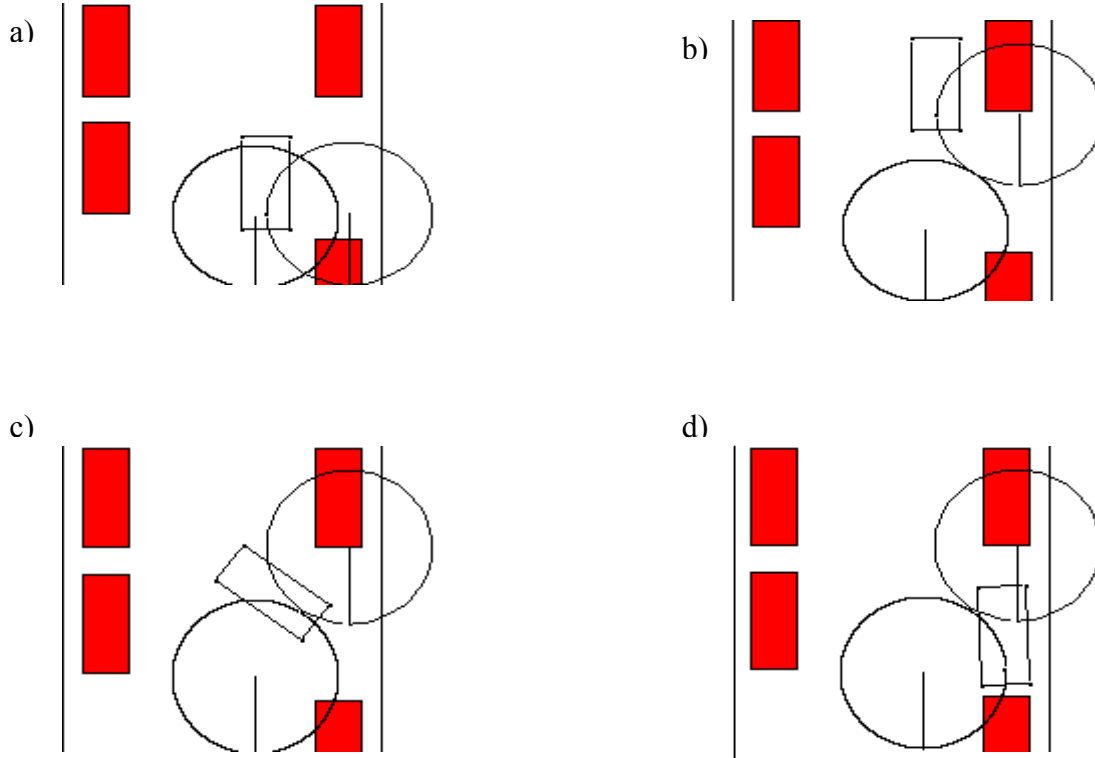


b)

Şekil 13

3.3 Park Etme Aşaması

Park etme aşamasında 3.2’de anlatılan yöntem, hedef nokta olarak arabanın park işlemi sonucunda bulunması istenen koordinatların işaretlenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Başlangıç aşamasından farklı olarak manevralar daha yüksek değerde bir direksiyon açısı ile gerçekleştirilmektedir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 14) aynı durum için park etme manevraları görülmektedir.



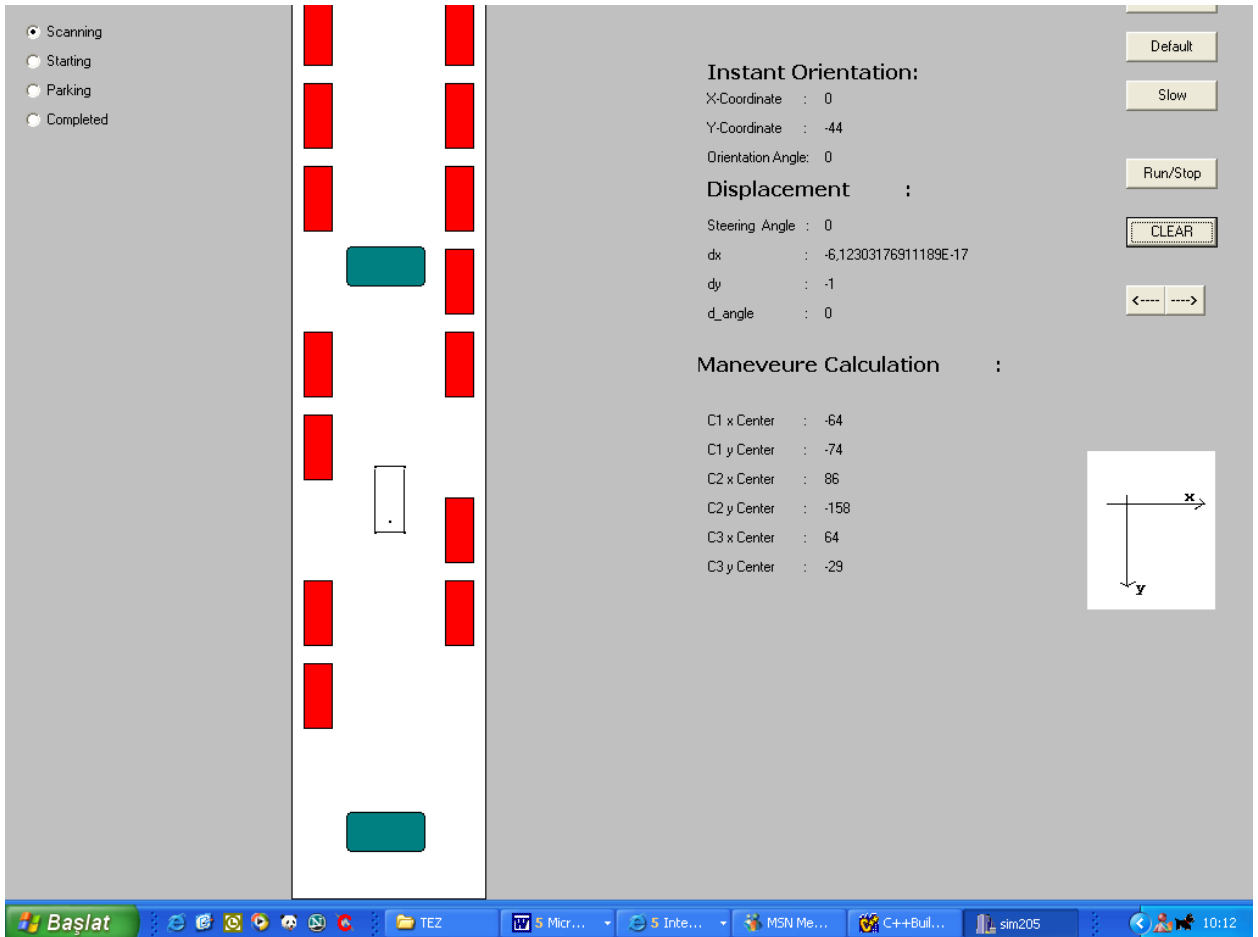
Şekil 14

4 UYGULAMA

Projenin uygulanması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak arabanın fiziksel-kinematik modeli bilgisayar ortamına taşınmış paralel park etme algoritması bu model üzerinde sınanmıştır. İkinci aşama ise doğrulanan yaklaşımın 1/10 ölçekli araba biçimli bir robot üzerine entegrasyonunu içermektedir.

4.1 Simülasyon

Görsel C++ dilinde bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Simülasyon programında ilk olarak arabanın fiziksel-kinematik modeli oluşturulmuştur. $F(x,y)$ referans noktasının hareketi kontrol edilmekte ve köşe noktaları daha önce bölüm 2’de anlatıldığı şekilde referans noktasına göre tarif edilmektedir. Bu model üzerinde çevresel veriyi toplayan dört adet algılayıcı modellenmiştir. Değişken koşullar rastgele senaryolar oluşturabilen bir program yardımıyla sümüle edilmiştir. Çevresel veriyi alarak işleyen ve bunun sonucunda görev bilgisini güncelleyerek hareket modülü simülatörüne uygun kontrol işaretlerini ileten bir kontrol modülü simülatör programı geliştirilmiştir. Aşağıdaki şekilde simülasyon programından alınmış bir ekran görülmektedir.



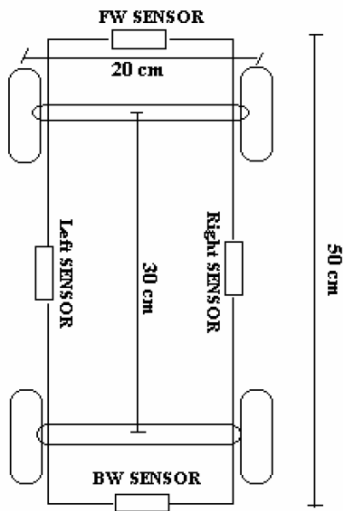
Şekil 15

4.2 Donanım

Paralel park etme algoritmasının gerçeklenmesi çevresel verinin elde edilmesi, bu verinin işlenmesi, karar verilmesi ve arabanın bu karar uyarınca kontrolünü gerektirmektedir. Bu gevler için üç ayrı modül tasarlanmıştır:

- 1) Algılayıcı Modülü
- 2) Mikrodenetleyici Modülü
- 3) Hareket Modülü

Tasarlanan modüller 1/10 ölçekli bir araba modeli üzerine yerleřtirilmiřtir.



5 Sonuç

Yapılan alışma paralel park etme problemini çözmektedir. Gerçeklenen araba biçimli robot kendi boyutlarının 3/2 si uzunluğundaki alanlara çarpışmasız olarak park edebilmektedir. Daha fazla sayıda algılayıcı kullanarak toplanan çevresel veri arttırılabilir ve bu sayede daha az uzunluklu alanlara aracın park etmesi sağlanabilir.

Yöntemin gerçek bir araba üzerine uygulanması farklı algılayıcıların kullanılmasıyla mümkündür.

Kullanılan araba modeli sayesinde yazılımsal olarak farklı boyutlardaki arabalar için sistem kolaylıkla modifiye edilebilmektedir.