

ARABA BENZERİ GEZGİN ROBOTUN OTOMATİK PARK ETMESİ İÇİN BİR YÖNTEM

Burak Uz Kent Osman Parlaktuna

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir

uzkent.burak@gmail.com

oparlak@ogu.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada araba benzeri gezgin robotlar için otomatik paralel park etme problemi üzerinde çalışılmıştır. Robotun üzerine yerleştirilen ses ötesi mesafe algılayıcılarıyla park edilecek bölge algılanmakta ve park edilecek yerin boyutlarına bağlı olarak bir defada ya da ard arda takip edilecek dairesel yörüngeler oluşturulmaktadır. Önerilen yöntem MATLAB programı kullanılarak test edilmiş ve farklı boyutlardaki ortamlarda başarılı şekilde park edilebildiği gösterilmiştir.

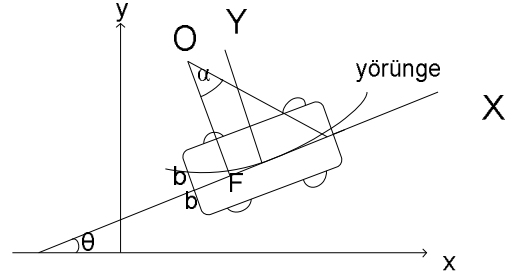
1. Giriş

Son zamanlarda araçların otomatik olarak paralel park etmesi konusunda çalışmalar artmıştır. Murray ve Sastry [1] holonomik olmayan araçlar için yeni bir park etme yaklaşımı sundular. Bu yaklaşımda araç geriye doğru sinüs dalga benzeri bir yol, ileriye doğru ise düz bir çizgi izlemektedir. Ancak, araç geriye doğru giderken park alanındaki engellerle muhtemel çarpışmalar tartışılmamıştır. Jiang ve Seneviratne [2], sesötesi mesafe algılayıcılar kullanarak ve dairesel yörüngeler oluşturarak holonomik olmayan araçların otomatik park etmesi için bir yöntem önermişlerdir. Park edilecek yerin konumu ve park esnasında engellerle çarpışmamak için yasak bölgelerin tespiti algılayıcılarla yapılmıştır. Park etme işlemi birbirini takip eden birçok manevradan oluşmaktadır. Divelbiss ve Wenn [3], römorklu araçların paralel parkı üzerine çalışmışlardır. Ancak bu makale otomatik paralel park etmeden daha çok farklı römorklu araçlardaki yörünge izleme üzerine odaklanmıştır. Paromtchik [4], holonomik olmayan araçların dik park etmesi için hem hız hem de yönlenmeyi sinüs dalgası olarak belirleyen bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde aracın takip edeceği tek bir yörünge belirlenmekte ve bu yörüngeyi gerçekleştirecek hız ve yön bilgileri bulunmaktadır. Gomez ve arkadaşları [5] dik veya açılı park etmeyi tek bir manevrada gerçekleştirecek bir yöntem önermişlerdir. Aracın izleyeceği yörüngeyi belirlerken park etme yerine park yerinden çıkan sanal bir araç için yörünge oluşturmuşlar. Bu yörünge üzerindeki hareketlerin sırası ve yönünü ters çevirerek park etme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada holonomik kısıtları olan araba benzeri bir gezgin robotun paralel park etmesi problemi üzerinde çalışılmıştır. Park edilecek yerin belirlenmesi ve park sırasında engellerden kaçınmak için sesötesi mesafe algılayıcıları kullanılması önerilmiştir. Park manevraları birbiri ile kesişen ya da teğet olan çemberlerin takip edilmesi olarak planlanmaktadır. Çalışmanın genel yapısı şu şekildedir: Bölüm 2’de gezgin robotun modeli anlatılmıştır. Otomatik park etme süreci Bölüm 3’te anlatılmıştır. Önerilen

yaklaşımın uygulanabilirliği benzetim ortamında yapılan deneylerle Bölüm 4’te gösterilmiş ve sonuçlar son bölümde verilmiştir.

2. Araba benzeri robotun modellenmesi

Bu çalışmada, robot boyutları $2a$ ve $2b$ olan dikdörtgen bir nesne olarak kabul edilmiştir. Robotun ön tekerlerinin yönlenmeyi sağlayacak şekilde sınırlı olarak döndüğü ve sürüşün arka tekerler aracılığıyla sağlandığı varsayılmıştır. Robotun modellenmesinde arka tekerleri birleştiren aksın orta noktası (F, Şekil 1) referans noktası olarak alınmıştır.



Şekil 1: Araba benzeri gezgin robot modeli

Robot hareket sırasında iki kısıtlamayla karşı karşıya kalır. Bunlardan bir tanesi hızın 0 radyal bileşenidir.

$$\frac{\partial x}{\partial t} \sin \theta + \frac{\partial y}{\partial t} \cos \theta = 0 \quad (1)$$

x ve y , F noktasının koordinatları, θ ise aracın referans koordinat sistemine göre yönlenme açısıdır.

Robotun ön tekerleklerinin dönüş açısının $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$ aralığında olduğu kabul edilmiştir.

Buradan da robotun doğrusal hızının (v), açısal hız ($\frac{\partial \theta}{\partial t}$) ve

minimum dönme yarıçapının (ρ_{\min}) çarpımından büyük olması sınırlaması karşımıza çıkar. Bunu bir eşitsizlikle gösterecek olursak;

$$|v| \geq \left| \frac{\partial \theta}{\partial t} \right| \rho_{\min} \quad (2)$$

Doğrusal hızın karesi

$$\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 = v^2 \quad (3)$$

Olarak yazılır ve (3), (2) numaralı denklemde yerine konulursa aşağıdaki eşitsizlik elde edilir.

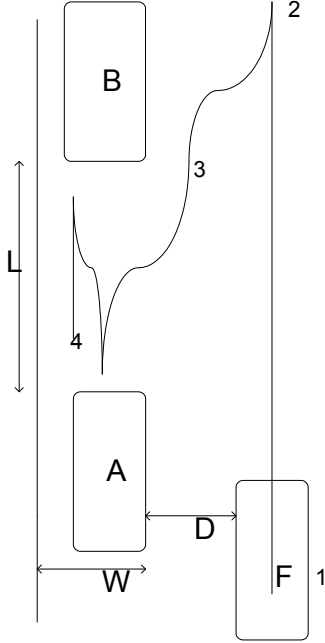
$$\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 - \rho_{\min}^2 \left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)^2 \geq 0 \quad (4)$$

(1)- (4) no'lu eşitlikler robotun kinematik denklemleridir.

Algılama, paralel park probleminde son derece önemlidir. Algılayıcıların verdiği bilginin doğruluğu ve kesin değere yakın oluşu kazasız bir paralel park yapmamızı sağlar. Genelde bu tip durumlar için ses ötesi algılayıcılar kullanılır. Bu çalışmada robotun her köşesinde bir tane olmak üzere dört adet ses ötesi algılayıcı olduğu varsayılmıştır.

3. Otomatik park etme süreci

Bu çalışmada otomatik paralel park etme süreci üç faza bölünmüştür. Bu fazlar sırasıyla tarama, pozisyon alma ve park etme fazlarıdır. Şekil 2'de tipik bir sol tarafa park etme durumu anlatılmıştır.



Şekil 2: Sola paralel park etme durumu

Tarama fazında robot 1 noktasından 2 noktasına gider ve pozisyon alma için faydalı olacak park alanı bilgilerini toplar. Bu bilgiler şekilde gösterilen D, W ve L dir. D araç ile A engeli arasındaki mesafedir. W ise kaldırım ile engellerin dış kenarı arasındaki mesafedir. Bu mesafe manevra fazında kazasız park için önemlidir. L ise park etmiş engellerin birbiri arasındaki mesafedir. Bu mesafe park alanının yeteri

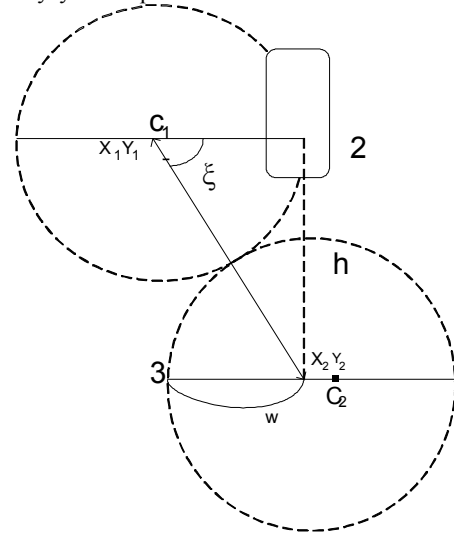
kadar uzun olup olmadığını anlamamıza yardımcı olur. Pozisyon alma fazında ise robot 2 numaralı pozisyondan 3 numaralı pozisyona gider. Bu fazda ki amaç bir sonraki faz olan park etme fazında robotun kazasız park etmesini sağlamak için uygun pozisyona getirilmesidir. Park etme fazında ise robot 3 numaralı pozisyondan 4 numaralı pozisyona gider. Bu fazda ileri ve geri hareketlerle robotun park etmesi sağlanır.

3.1 Tarama fazı

Park alanı genelde iki park etmiş araç arasında kalmış olan dikdörtgen bir alan olarak varsayılır. Robot, 1 ve 2 pozisyonu arasında düz bir şekilde giderken algılayıcılar ortam hakkında bilgi toplar ve bu fazın sonunda L, W ve D hesaplanmış olur. Park alanı bazen beklenen şekilde olmayabilir. Mesela ortamda park halinde olan sadece bir araç bulunabilir. Bu durumda ise önceden bilinen bir uzunluk park halindeki araçla birlikte değerlendirilir ve sanki ikinci bir aracın park halinde olduğu düşünülerek paralel park yapılır. Ayrıca park yeri yeteri kadar geniş veya uzun olmayabilir. Bu durumda da robot 1 numaralı pozisyondan 2 numaralı pozisyona gelir ve durur.

3.2 Pozisyon alma fazı

Pozisyon alma fazı paralel park etmek için oldukça önemlidir ve tarama ve park etme fazı arasında bir geçiş görevi görür. Pozisyon alma fazında sadece bir tane hareket vardır. Robotun F noktası birbirine kesişen iki benzer çemberi takip eder (Şekil 3). Çemberlerin üzerinde eşit uzunlukta yaylar takip edilecektir.



Şekil 3: Pozisyon alma fazı hareketi (Sol tarafa park için)

Bu hareket aynı zamanda park etme fazında da kullanılır, ancak park etme fazında buna ilave bir hareket daha gündeme gelecektir. Bu çalışmada $h = 2a$ (arabının uzunluğu) varsayılmıştır. Burada alttaki çemberin yarıçapının w' den daha büyük olduğunu görüyoruz. Tarama fazı

tamamlandığında 2 noktasının koordinatları bilinmiş olur. Çemberlerin merkezlerinin koordinatlarını bulmak için ρ_{\min} bulunmalıdır

$$h = 2a \quad \text{ve} \quad w = D - w_{\min} \quad (5)$$

Bu nokta da w_{\min} değeri çok önemlidir. Robotun, pozisyon alma fazında üstteki park etmiş araca çarpmaması için w_{\min} değeri b 'den (arabanın yarı genişliği) büyük olmalıdır. Bu çalışmada $w_{\min} = 1.5b$ alınmıştır. Şekil 3'ten

$$\cos \xi = (\sqrt{\rho_{\min}^2 - h^2}) / \rho_{\min} \quad (6)$$

ve

$$\cos \xi = \frac{\left(\rho_{\min} - \frac{w}{2} \right)}{\rho_{\min}} \quad (7)$$

yazılır. (6) ve (7) nolu denklemler kullanılarak

$$\rho_{\min} = (w^2 + h^2) / (4w) \quad (8)$$

kolaylıkla bulunabilir. Ayrıca

$$\xi = \sin^{-1} \left(\frac{h}{2\rho_{\min}} \right) \quad (9)$$

olarak yazılır. ξ robotun çemberlerin üzerinde gideceği yayın gördüğü açıdır ve iki çemberin kesiştiği noktanın bulunması için önemlidir. Sinüs fonksiyonunun gereği $0 \leq h \leq 2\rho_{\min}$ dir.

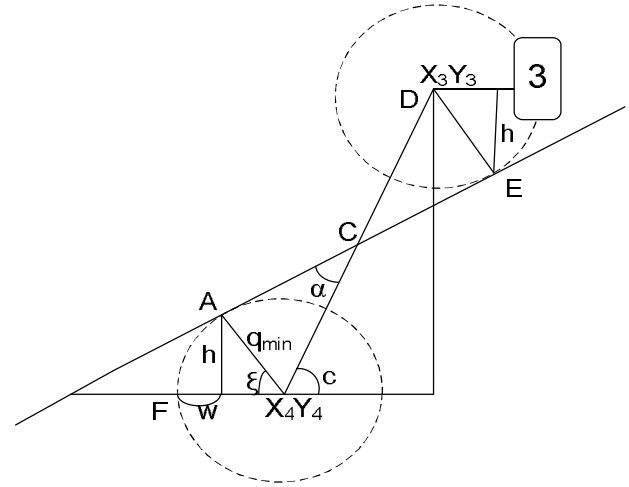
3.3 Park etme fazı

Bu fazda robot, 3 numaralı pozisyondan 4 numaralı pozisyona gider. Park etme fazında kazasız bir park yaratmak için oldukça dikkatli olunmalıdır. Bir hata robotun ön ya da arka engele veya kaldırırma çarpmasına neden olabilir. 3 numaralı pozisyonda robotun F noktası üstteki arabanın en altıyla aynı hizadadır. Bunun nedeni robotun sol tarafının üstteki aracın sağ tarafıyla temas etmemesini sağlamaktır. Araç park alanının içine girdiği zaman üst ve alt araçla çarpışmaması ve kaldırırma temas etmemesi durumunu da göz önünde bulundurmak gerekir.

Park alanının uzunluğuna ve genişliğine bağlı olarak park etme fazında tekrar edilen hareketlerin sayısı değişecektir. Arabanın ön tekerlerinin dönüş açısı α hareketlerin sayısını belirleyen bir faktördür. Büyük α değerlerinde tekrar edilecek hareket sayısı azalır. Ancak bazı durumlarda büyük α değeri robotun üstteki araçla çarpışmasına neden olabilir.

Park etme fazında iki türlü hareket kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi park alanının robottan çok daha büyük olduğu durumlarda tek hareketle istenilen yere park edilmesidir (Şekil 4). Bu hareket 3 numaralı pozisyonda başlar ve F noktası alttaki aracın orta noktasıyla aynı dikey hizaya geldiğinde hareket biter. Bu hareket için çarpışmasız alan ayarlamak kolaydır çünkü başlangıç ve bitiş noktaları bellidir. Robotun alt araca değmemesi düşünülmesi gereken

bir durumdur. Hareketin başlangıç ve bitiş pozisyonları (X_3, Y_3) ve (X_4, Y_4) olarak verilirse



Şekil 4: Park etme fazında park alanının büyük olduğu durumda kullanılan hareketin gösterimi

$$c = \tan^{-1} \left(\frac{Y_3 - Y_4}{X_3 - X_4} \right) \quad (10)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\rho_{\min} / (\sqrt{(Y_3 - Y_4)^2 + (X_3 - X_4)^2}) / 2 \right) \quad (11)$$

yazılır. Bu iki eşitlikten ve Şekil 4'ten;

$$\xi = 90^\circ + \alpha - c \quad (12)$$

bulunur.

Park etme fazında kullandığımız diğer hareket ise park alanının robota göre çok büyük olmadığı yani tek hareketle park edemediğimiz durumlarda kullanılacak harekettir. Bu hareket pozisyon alma fazındaki hareketle hemen hemen aynıdır. Ancak bazı temel değişiklikler bulunmaktadır. Birinci fark, pozisyon alma fazında ρ_{\min} kullanırken park etme fazında tekerlerin dönüş açısına bağlı bir çember yarıçapı ρ kullanılmasıdır. Bu çalışmada tekerlerin dönme açısı sabit alınmıştır, dolayısıyla park etme fazında ρ sabittir. Pozisyon alma fazında, ρ_{\min} w ve h 'a bağlı olarak hesaplanmıştı, park etme fazında ρ sadece robotun yarı uzunluğuna bağlıdır. Ancak ileri ve geri hareketler tekrar edildikçe robot kaldırırma yaklaşır ve kaldırırma yaklaştığı durumda harekette ufak bir değişiklik olur bu da ileri de gösterilecektir.

$$\rho = \frac{a/2}{\tan(\alpha)} \quad (13)$$

$$w = \rho - (\sqrt{\rho^2 - h^2 / 4}) \quad (14)$$

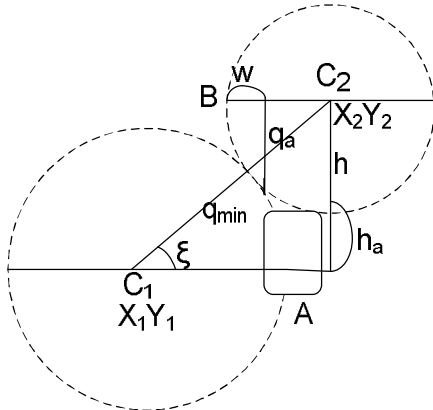
$$\xi = \sin^{-1}\left(\frac{h}{2\rho}\right) \quad (15)$$

Bu değerler bulunduktan sonra hareketi yapmak için gereken diğer parametrelerde bulunur. Böylece bir geri hareketi tamamlamış oluruz. Bundan sonra aynı hareket ileri ve geri olacak şekilde kaldırırma yaklaşımına kadar tekrarlanır.

3.4 Robotun kaldırırma çarpmasını engellemek

Robotun, kaldırırma çarpmasını engellemek için park etme fazında yeni bir hareket öngörülür. Park etme fazının başlangıcında robot bahsedilen ikinci hareketi ileri ve geri olacak şekilde tekrarlamaya başlar. Belli bir yere geldikten sonra yine ileri şekilde şekil 3 deki hareketi yapar ancak robotun ön ucu kaldırırma yaklaştığı an (Şekil 5, C_1 çemberinin üstünde iken) birinci çemberi bırakıp ikinci çemberin üzerinde hareket etmeye başlar. Bu durum da robot az da olsa sola gider ancak bunu koyacağımız kaldırırma uzaklık parametresiyle çözebiliriz. Diğer anlamda kaldırırma yaklaştığını gördüğü zaman dışa doğru hareketi bitirir ve içe doğru hareket eder.

Robot yasak alanına girince h_a ve $w/2$ bulunmuş olacaktır. Bu noktadan sonra araç ikinci çemberi takip edip B noktasına gelecektir. İkinci çember üzerindeki kayma $w/2$, h_a ise park alanının uzunluğundan yasak alan uzunluklarını çıkardığımızda kalan uzunluktur.



Şekil 5: Robotun ön ucunun kaldırırma yaklaştığı zaman yapılacak hareket

ρ_a i bulabilmek için önce ξ bulunmalıdır

$$\xi = \sin^{-1}\left(\frac{h_a}{\rho}\right) \quad (16)$$

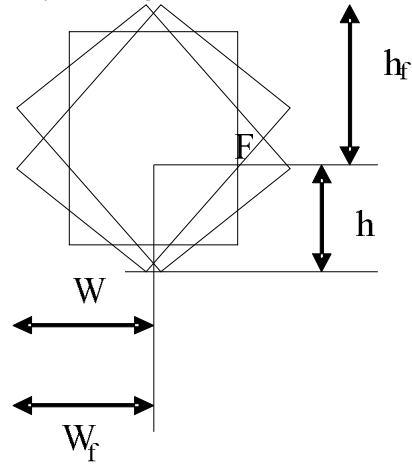
$$\cos(\xi) = \frac{\left(\rho_a - \frac{w}{2}\right)}{\rho_a} \quad (17)$$

bu iki denklemi kullanarak ρ_a kolaylıkla bulunur.

$$\rho_a = \left(\frac{w/2}{1 - \cos(\xi)}\right) \quad (18)$$

4. Yasak alan uygulamaları

Yasak alan, park işlemi boyunca robotun engellerle muhtemel çarpışmasını engellemek için uygulanan yöntemdir. Algoritma da yasaklı alanı önceden bulup sonra robotun hareketleri ona göre planlanır. Park etme fazında robot referans noktasına göre robotun ön ve arka kısmının park etmiş araçlara çarpmaması sağlanır. Şekil 6'da yasak alanla ilgili büyüklükler gösterilmiştir.



Şekil 6: Yasak alan tanımları

h_f = İleri yatay mesafe, h_b = Geri yatay mesafe, w_f = İleri dikey mesafe, w_b = Geri dikey mesafe

Çalışmada bu değerler

$$\begin{aligned} h_f &= b \sin \xi + 1.5 a \cos \xi \\ h_b &= b \sin \xi + 0.5 a \cos \xi \\ w_f &= b \cos \xi + 1.5 a \sin \xi \\ w_b &= b \cos \xi + 0.5 a \sin \xi \end{aligned} \quad (20)$$

olarak kabul edilmiştir.

Robotun hareket yönü ön ve arkadaki araca dik olduğunda ξ açısı sıfır olur, bu durumda

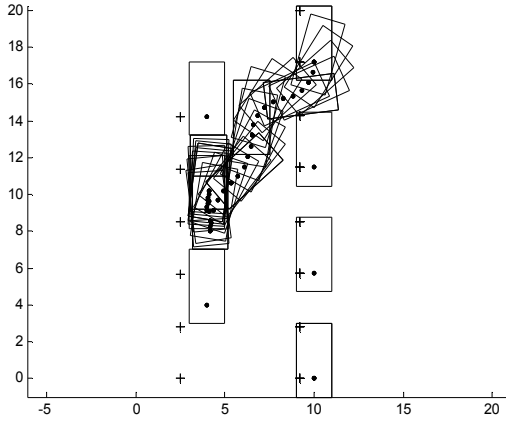
$$\begin{aligned} h_f &= 1.5a & h_b &= 0.5a \\ \text{olur} & & \text{olur} & \end{aligned} \quad (21)$$

5-Benzetim Sonuçları

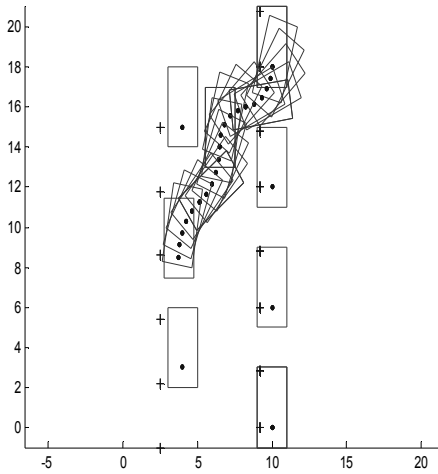
Yukarıda bahsedilen paralel park etme yöntemi MATLAB ortamında programlanmış ve farklı araç boyutları, park alanı boyutları için benzetimler yapılmıştır.

Şekil 7'de boyutları 2x4 birim olan bir aracın (10,0) başlangıç noktasından başlayarak soldaki 2 araç arasına park etmesi görülmektedir. Park alanındaki araçlarında boyutları 2x4 birimdir. Altındaki aracın referans noktası

(4,4)' te üstteki aracın referans noktası ise (4, 14)' tedir. Tarama ve pozisyon alma fazlarından sonra araç ileri geri hareketlerle başarılı şekilde park etmektedir.



Şekil 7: Dar alana park etme



Şekil 8: Tek geri hareketle yapılmış paralel park

Şekil 8'de ise daha geniş bir alana tek hareketle park etme davranışı görülmektedir. Şekil 7 ve 8 karşılaştırıldığında, aracın dar alana park etmesi sırasında çok fazla ileri geri manevra yapması gerektiği görülmektedir.

6-SONUÇ

Bu çalışmada araba benzeri robotların otomatik olarak paralel park etme problemi üzerinde çalışılmıştır. Algılayıcılar aracılığıyla boyutları belirlenen park yerine bir defada veya ileri geri tekrarlayan hareketlerle park edebilmek için gerekli manevralar planlanmıştır. Yörüngeler, yarıçapları birbirine eşit ve genelde kesişen çemberlerin çevresini

takip edecek şekilde oluşturulmuştur. Park alanının yeterince geniş (uzun) olması durumunda çemberler kesişmemekte ancak yörünge gene yarıçapları eşit iki çemberin çevresini takip edecek şekilde oluşturulmaktadır. Yapılan MATLAB benzetimleriyle yöntemin geçerliliği gösterilmiştir.

6. Kaynakça

- [1]- Murray R.M. and Sastry S.S., "Steering Nonholonomic Systems Using Sinusoids", *Proceedings of Conference on Decision and Control*, 2097-2101, 1990
- [2]- Jiang, K and Seneviratne L. D., "A Sensor Guided Autonomous Parking System for Nonholonomic Mobile Robots", *IEEE Conference on Robotics and Automation*, 311-316, 1999.
- [3]-Divelbiss A.M. and Wen J.T., "Trajectory Tracking Control of a Car Trailer system", *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 5 (3): 269-278, 1997.
- [4] Paromtchik, I.E., "Steering and Velocity Commands for Parking Assistance", *Proceedings of 10th IASTED International Conference, Robotics and Automation*, 178-183, 2004.
- [5] Gómez-Bravo F., Cuesta F., Ollero A., "Parallel and diagonal parking in nonholonomic autonomous vehicles", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14, 419-434, 2001.
- [6]- Gómez-Bravo F., Cuesta F., Ollero A., Viguria A. "Continuous curvature path generation based on β -spline curves for parking manoeuvres", *Robotics and Autonomous Systems*, 56, 360-372, 2008.