

# OSU-ACT Otonom Otomobili için şehir içi yol planlaması

Ahmet Yazıcı<sup>1</sup>

Ümit Özgüner<sup>2</sup>

Lina Fu<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Department of Electrical Engineering, Ohio State University, Columbus, OH, USA

<sup>1</sup>e-posta: yazicia@ece.osu.edu

<sup>2</sup>e-posta: umit@ece.osu.edu

<sup>3</sup>e-posta: fu.83@osu.edu

## Özetçe

Bu çalışmada, DARPA şehir içi araba yarışı sırasında OSU-ACT otonom otomobili için tasarlanan yol planlayıcı modül tanıtılmaktadır. DARPA şehir içi araba yarışında otonom otomobilin önceden yol tanımlama dosyasında olan kontrol noktalarını ziyaret etmesi istenmektedir. Bu amaçla herhangi bir konum/kontrol noktası ile bir sonraki kontrol noktasına olan yolun planlanması gerekmektedir. Yol planlayıcı modül öncelikle yol ağı tanımlama dosyasını bilinen yol bulma algoritmalarının uygulanacağı şekilde bir çizgeye dönüştürmektedir. Daha sonra ise arabanın GPS/pusula'sından dan okunan konum-yön bilgisi, oluşturulan çizge, önerilen bir sayıl çarpım fonksiyonu ve A\* algoritması kullanılarak ilk kontrol noktasına olan yol bulunmaktadır. Araç ilk kontrol noktasına vardıkdan sonra diğer kontrol noktalarına olan yol direk A\* algoritması ile bulunmaktadır.

## 1. Giriş

Otonom sistemler konusunda yapılan çalışmalar bu alanda düzenlenen değişik seviyedeki yarışmalar ve halka açık gösterilerle daha da ivme kazanmaktadır [1, 2]. Bu yarışmalar ile birçok yöntem bir araya getirilerek daha karmaşık sistemler tasarlanmakta, veya yeni yöntemler geliştirilmektedir. Literatürde belli olgunluğa ulaşmış yöntemler kullanılsa dahi pratik uygulama aşamasında probleme uygun geliştirmeler ve modifikasyonlar gerekebilmektedir.

Otonom sistemler konusunda yapılan yarışmalardan bir kısmı da Amerika Birleşik devletleri ileri savunma araştırmaları proje ajansı (The Defense Advanced Research Project Agency, DARPA) tarafından insansız arabalar konusunda düzenlenmektedir. Önceki yıllarda düzenlenen yarışmalar, otonom yer araçlarının yol-dışı (off-road) parkurlarda belli bir başlangıç noktasından bitiş noktasına varmasını gerektirmekteydi. Ohio

State Üniversitesi bu yarışmalara TerraMax [3] ve ION [4] araçları ile katılmış ve final yarışlarında ilk on içerisinde yer almıştır. Bu yarışlarda kullanılan otonom otomobillerin kontrol mekanizmaları ile ilgili detaylar için [5, 6, 7] ve buradaki kaynaklara bakılabilir. Bu yılki otonom araba yarışı şehir içi trafiğinde yapılması planlanmakta olup, bu yarışa Ohio State Üniversitesi OSU-ACT (Ohio State Üniversitesi- The Autonomous City Transport) takımı ile katılması planlanmaktadır [8]. Şehir içi insansız araba yarışında, araçların belli kontrol noktalarını istenilen sırada ziyaret etmesi istenmektedir. Şehrin haritası ve ziyaret edilmesi gereken kontrol noktalarının bu haritadaki yeri özel formatta tasarlanmış yol ağı tanımlama dosyası (Route network Definition File, RNDF) ile verilmektedir. Kontrol noktalarının gezilme sırası ise görev tanım dosyası (Mission definition file, MDF) ile verilmektedir. Araç yol planlama modülü, planlama aşamasında ortam ve görev sırası bilgilerini içeren RNDF ve MDF dosyalarını kullanacaktır. Otonom araçların DUR noktalarında durmaları, kavşaklarda geçiş önceliğine uymaları gibi bir takım şehir içi trafik kurallarına uymaları da beklenmektedir. Şehir içi trafiğinde MDF dosyasında planlanan kontrol noktalarının dolaşılması sırasında, bir noktada yol kapandığında (devinik durum) sonraki hedefe ulaştıracak yeni bir yolun bulunması da yol planlama modülü tarafından sağlanması gerekmektedir.

Takip eden kısımda öncelikle OSU-ACT otonom otomobili ve yol planlama modülü açısından şehir içi yarış şartları kısaca tanıtılmaktadır. Kısım 3 de RNDF formatında verilen şehir haritasının yol planlaması yapılabilecek forma getirilmesi ve önerilen çözüm algoritmaları verilmektedir. Son kısımda ise arabanın yarı final testinde kullanılan bir ortam için bazı yol planlaması sonuçları verilmektedir.

## 2. OSU-ACT Otonom otomobili ve 2007 Şehir içi otonom araba yarışındaki problemler

Bu yıl düzenlenecek yarışlarda OSU-ACT takımı olarak Şekil 1’ de gözüken Hibrid Toyota Highlander kullanılması planlanmaktadır. Araç iç hacim olarak, gerekli bilgisayar, kontrol ve görüntüleme birimlerini alacak büyüklüktedir. Ayrıca karma (Hibrid) yapısı nedeni ile bilgisayar, elektronik birimler ve algılayıcıların ihtiyaç duyduğu DC güç için ek bir kaynak kullanılmasına gerek yoktur.

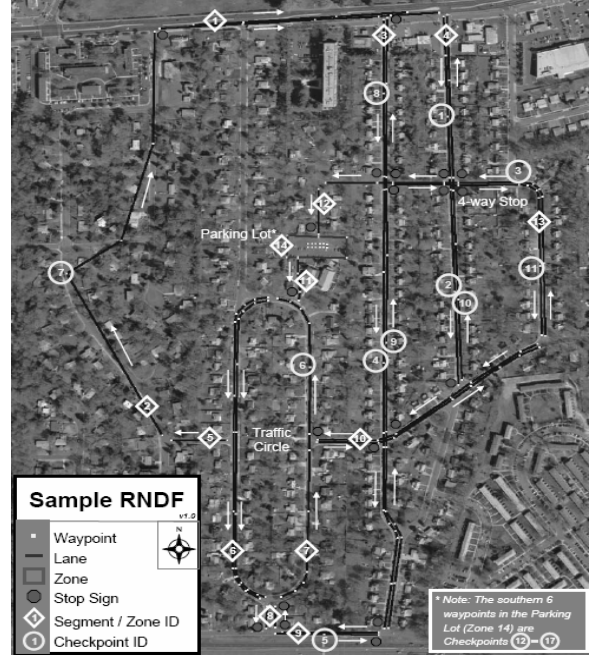


Şekil 1. OSU-ACT Otonom otomobili:  
Hibrid Toyota Highlander

Araç üzerine ön ve arka taraftaki nesnelere/engelleri algılama amacı ile 1 adet Ibeo Alasca lidar(ön taraf), iki adet SICK LMS lazer(arka taraf köşeler) olmak üzere üç adet lazer birimi monte edilmiştir. Yol çizgilerini ve öndeki araçların tespiti içinse Mobileye AWS model kamera kullanılmaktadır. Bunların dışında aracın konumlandırılması için GPS /INU vb. diğer algılayıcılar bulunmaktadır.

İnsansız araba yarışının bu yılki etabında, otonom otomobillerin şehir içi trafiğinde karşılaşılabileceği bir çok durum mevcuttur. Bu kısımda yol planlama modülünün çözmesi gereken problemler verilecek olup diğer detaylar için internet sitesine [2] bakılabilir. Yarış bölgesi yollar ve park alanlarından oluşmakta olup örnek bir bölge Şekil 2 ile verilmektedir. Yollar ve park alanları aracının yol planlamasında kullanacağı RNDF dosyasında, GPS enlem ve boylam bilgisini içeren yol-noktaları (way-points) ile tanımlanmaktadır. Yolların tanımlanmasında yol başlangıç, yol bitiş ve aradaki

bazı örnek noktalar yol-noktaları ile verilmektedir. Park alanlarında ise araç park noktaları iki adet yol-noktası ile ve park alanının çevresi belli sayıda yol-noktası ile tanımlanmaktadır.



Şekil 2. Örnek yarış bölgesi fotoğrafı

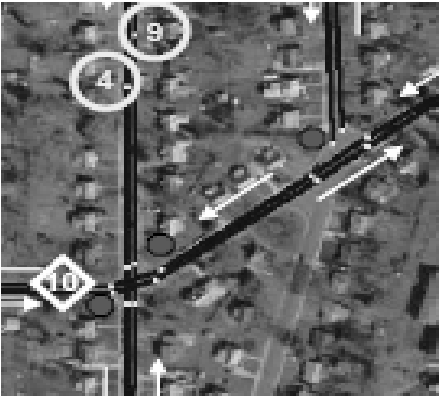
Yolların ve park alanlarının birbirlerine olan bağlantıları, uç noktadaki yol-noktalarının RNDF dosyasında çıkış/giriş şeklinde ilişkilendirilmesi ile tanımlanmaktadır. Eğer aynı yol üzerinde tanımlı çıkış/giriş yol-noktaları varsa, veya herhangi bir gidiş-geliş yol çıkış bağlantısı tanımlanmaksızın bir noktada bitiyorsa araç bu noktalarda U-dönüşü yapabilecektir.

Yolların ve park alanlarının tanımlanmasında kullanılan yol-noktalarının bazıları ise kontrol noktası olarak RNDF dosyasında tanımlanmaktadır. Park alanları içindeki park edilebilir bölgelerdeki iki yol-noktasından birisi kontrol noktası olarak verilecek olup, RNDF de bunlar arasında özel bir bağlantı tanımlanmayacaktır. Ardışık iki kontrol noktası aynı park bölgesi içinde ise özel olarak bu bağlantının tanımlanması gerekmektedir. Yol planlayıcı modülün MDF dosyasındaki kontrol noktaları sırasına göre yol planlaması yapabilmesi için ortam harita bilgisinin özel bir formatta saklı tutulduğu RNDF dosyasının yol planlama yapılabilecek forma getirilmesi gerekmektedir.

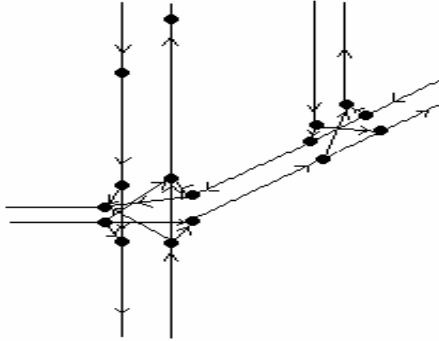
Takip eden kısımda bu forma getirme ve yol planlaması bulunmaktadır.

### 3. Ortamın modellenmesi ve yol planlaması

Bu çalışmada RNDF ile verilen ortam haritası  $N$  düğüm ve  $E$  link olmak üzere  $G(N,E)$  şeklinde bir çizge ile modellenmiştir. Bu çizge yapısında RNDF dosyasındaki kontrol noktaları ve yollar arası çıkış/giriş noktalarının hepsi düğüm olarak tanımlanmıştır. Düğümler arasındaki bağlantılar ise linkleri oluşturmaktadır. Şekil 3 ile verilen örnek bir şehir içi bölgesinin çizge ile gösterimi Şekil 4 teki gibidir.



Şekil 3 Örnek yarış bölgesinin bir kısmı



Şekil 4. Örnek bir parça için oluşturulan çizge yapısı.

Şekil 3 te muhtemel ziyaret edilebilecek kontrol noktaları yuvarlak daireler ile gösterilmektedir. Kavşak noktalarında ise farklı yol parçacıklarının birbirleri ile olan bağlantıları tanımlanmaktadır. Kontrol noktaları ve bu bağlantı yol-noktaları Şekil 4 teki çizgede düğüm noktalarını oluşturmaktadır. Yol bulma algoritmasının daha hızlı çözümler

üretebilmesi için tüm yol-noktaları düğüm olarak tanımlanmamış olup sadece yol planlamasında kritik olan kontrol noktaları ve yollar arası geçiş noktaları düğüm olarak alınmıştır. Bu yaklaşımda Şekil 2' de verilen ortamı tanımlamakta kullanılan 164 yol-noktasından 91 i önerilen çizgeyi oluşturmaya yeterli olmuştur. Düğümler arası yol bulununca planlamada kullanılmayan diğer yol noktaları da ilgili düğümler arasına yerleştirilmektedir.

#### *Yol bulma algoritması*

Yarış kurallarında, aracın RNDF de tanımlı yollardan birinde başlayabileceği, herhangi bir anda durdurulup yeni bir noktadan başlatılabileceği veya RNDF te açık olarak gözükken yolun kapatılabileceği ifade edilmektedir. Yol bulma modülünün şehir içi yarış bölgesinde bu durumlara cevap verebilmesi gerekir. Dolayısıyla, yol planlama modülü için ilk hareket esnasında yeri önceden bilinmeyen herhangi bir konumdan-ilk kontrol noktasına planlama, devinik durumlarda (yol kapanması) yeniden planlama ve kontrol noktası-kontrol noktası planlamalarda çözüm üretmesi beklenmektedir. Bu durumları dikkate alan yol planlayıcı modülün ana akışı aşağıdaki gibidir.

Adım 1-Başlangıç adımı: RNDF bilgilerini kullanarak  $G(N, E)$  çizgesini oluştur ve ilk durum tespiti yap. Devinik durum varsa adım 2 ye geç yoksa adım 3 e geç .

Adım 2- Diğer modüllerden gelen kapalı yol bilgisini kullanarak mevcut çizge link bağlantılarını güncelle ve adım 3 e geç.

Adım 3- Mevcut konumu çizgede bul. Araç herhangi bir düğüm üzerinde ise adım 4 e geç yoksa en yakın düğüme yol planlaması yap.

Adım 4- Düğüm-Düğüm(kontrol noktası) Planlama yap

Adım 5- Adım 3 (eğer varsa) ve adım 4 sonuçlarını birleştir, planlamaya dahil olmayan yol noktalarını düğümler arasına yerleştir ve bitir.

Bu ana akış şemasında Adım 3 ve Adım 4 ün detayları aşağıdaki gibidir.

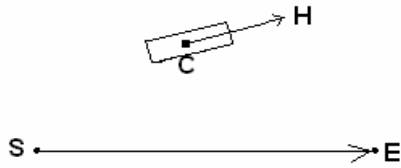
#### *Mevcut konumu çizgede bul ve en yakın düğüme yol planlaması:*

Şehir içi yarış kuralları dikkate alındığında (aracın önceden bilinmeyen bir noktadan başlaması, RNDF

dosyasında tanımlı yolların kapalı olabilmesi), aracın çizgede tanımlı bir düğümde başlamama durumu olacaktır. Bu durumda, mevcut konumdan çizgede tanımlı en yakın düğüme bir ön planlama işlemi gerekmektedir. Önerilen yaklaşımda, GPS ile konum bilgisi, pusula ile de yön bilgisi okunmakta ve çizge üzerinde olduğu yer tespit edilmektedir. Araç normal bir link üzerinde iken kazanım yöntemi gibi bir yöntemle en yakın olduğu linki tespit etmek mümkün olabilir. Fakat aracın birden çok linkin kesiştiği yerde ilk hareketine başlaması durumunda sadece en yakın linki değil aynı zamanda aracın yönü itibari ile en uygun yönü tespit etmek gerekmektedir. Bunun için, aracın mevcut bulunduğu noktadaki yönün mevcut link yönü ile ilişkisi ve en yakın linke olan mesafe bilgisinin ortak bir fonksiyon ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla şekil 5 ile gösterilebilen yapı için

$$f = \frac{\vec{SC}}{|\vec{SC}|} \cdot \frac{\vec{SE}}{|\vec{SE}|} + \frac{\vec{CE}}{|\vec{CE}|} \cdot \frac{\vec{SE}}{|\vec{SE}|} + \frac{\vec{CH}}{|\vec{CH}|} \cdot \frac{\vec{SE}}{|\vec{SE}|}$$

sayıl çarpımı kullanılmıştır. Bu çarpımda aracın linke mesafesi ve araç link yönü arasındaki açı azaldığında  $f$  fonksiyonunu değeri artmaktadır. Araç link üzerinde ve linkle aynı yönde olduğunda ise maksimum değere ulaşmaktadır. Örnek RNDF'lerde, farklı ilk konum ve farklı ilk yön için yapılan testlerde doğru sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5. Araç konumu-yönü ve link yönü

İlk konum tespiti yapıldıktan sonra ise RNDF link tanımlama dosyasındaki bilgileri kullanılarak en yakın düğüme olan yol bulunmaktadır.

*Düğüm-Düğüm(kontrol noktası) Planlama:*

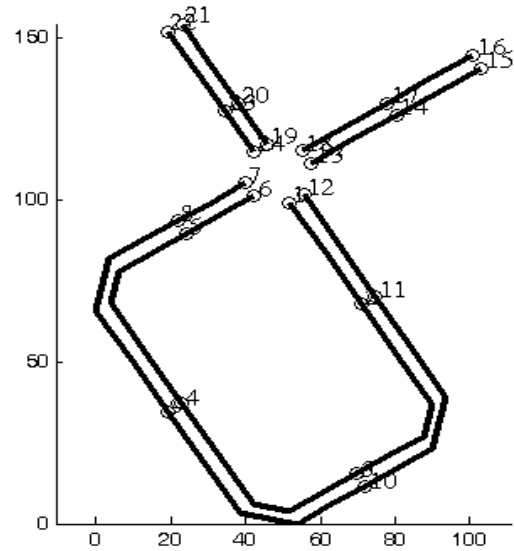
İlk olarak [9] de önerilen A\* algoritması, tanımlanmış bir çizge üzerindeki iki düğüm arasında en kısa yolun bulunmasında bilinen en iyi sezgisel algoritmadır. Bu algoritmada gidilecek yolun

yaklaşık maliyeti  $f(n)=g(n)+h(n)$  şeklinde hesaplanmaktadır. Burada  $g(n)$   $n$  düğüme gelinceye kadar olan mesafe,  $h(n)$  ise  $n$  düğümünden hedefe olan tahmini bir mesafedir. İki düğüm arasındaki en kısa yol bulma problemi için  $h(n)$  in kuş uçuşu mesafe olarak seçilmesi, en-iyi sonucu bulmayı garantilemektedir [10]. Durağan ve devinik trafik ağlarında en-kısa yol probleminin A\* ile değişik çözümleri için [11] e bakılabilir.

#### 4. Yapılan testler

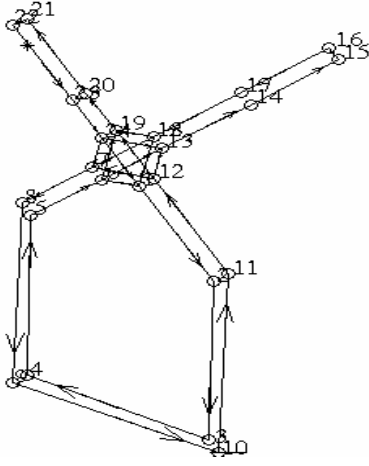
Yol planlama modülü, DARPA tarafından sağlanan örnek RNDF ve yarı finalde kullanılacak olan OSU test alanı için oluşturulan özel RNDF için test edilmiştir. Gösterimlerde kolaylık olması açısından OSU test alanı için elde edilen yol planlama sonuçları burada verilmektedir.

Yarı finalde kullanılması planlanan OSU test alanı Şekil 6 ile gösterilen yol yapısına sahiptir. Bu şekildeki x-y eksenleri değerleri gerçek GPS enlem-boylam bilgilerinin OSU test alanındaki bir referans noktasına göre off-set inin alınıp metreya çevrilmesi ile bulunmuştur. Pozitif x eksenleri batı-doğu yönünü, pozitif y eksenleri ise güney-kuzey yönünü göstermektedir. Örneğin 15 numaralı düğümün (Şekil 6 da sağ üst taraftaki yol-noktası) gerçek GPS nokta enlem-boylam değeri (40.308752, -83.544738) dir.



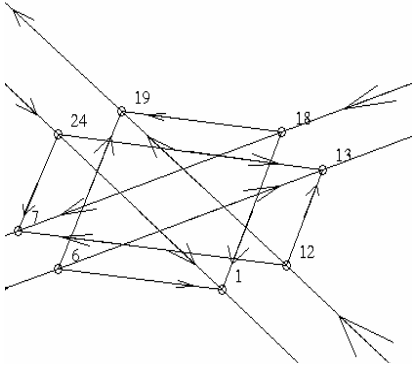
Şekil 6 Yarı-final OSU test alanı.

Şekil 6 da düğümlere karşılık gelen yol-noktaları düğüm numarası ile gösterilmektedir. Bu ortam için bölüm 3 teki yaklaşım kullanılarak oluşturulan çizge Şekil 7 de verilmiştir.



Şekil 7. OSU test alanının çizge ile gösterimi

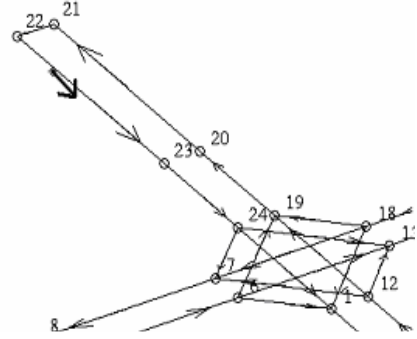
Bu çizgede kontrol noktaları ve çıkış-giriş noktaları düğüm olarak tanımlanmakta olup hepsine atanan numara şekil üzerinde verilmiştir. Şekil 8 de ise bu test ortamındaki kavşak bölgesinin çizge ile detaylı bağlantı gösterimi vardır.



Şekil 8. OSU test alanındaki kavşak bölgesinin çizge ile gösterimi

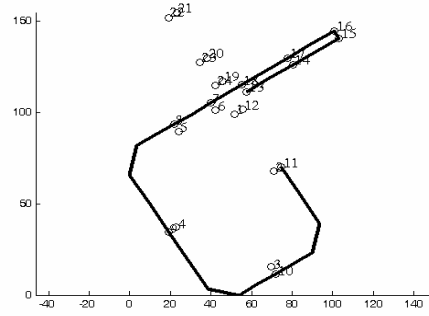
Aracın ilk konumda bulunduğu yeri tespit etmesi farklı ilk durum ve yönler için test edilmiştir. Şekil 9 da araç (40.308793, -83.545681) koordinatında kuzeyle 135 derece açı yapmış durumda iken olan ilk durum değeri vardır (siyah ok). Bu ilk durum için önerilen algoritma 2.9721 en yüksek sayıl çarpım değeri ile aracın 22-23 nolu linkte olduğunu

bulmuştur. Bu sayıl çarpıma en yakın değer 1.2537 civarındadır.



Şekil 9. Aracın ilk konumunu tespit etmesi

Örnek bir durum olarak aracın 13 numaralı düğüm noktasından 11 numaralı düğüm (kontrol) noktasına olan yol planlama sonucu Şekil 9 de siyah-kalın çizgi ile çizdirilmiştir.



Şekil 9. örnek bir durum için yol planlaması.

Şekil 9 incelendiğinde planlama [13; 14; 15; 16; 17; 18; 7; 8; 9; 10; 11] düğümlerinden geçmeyi gerektirmektedir. Dikkat edildiğinde 15-16 düğümlerde arasında aracın U- dönüşü yapması gerekmektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma kısmi olarak TÜBİTAK-BİDEB tarafından desteklenmiştir.

## 6. Sonuçlar

DARPA şehir içi araba yarışı sırasında OSU-ACT otonom otomobilinin kullanması planlanan yol planlayıcı modül tanıtılmıştır. Geliştirilen modülün şehir içi araba yarışında ortaya çıkabilecek yol planlama problemlerine çözüm üretmesi hedeflenmiştir. Yapılan testlerde modülün işlevselliği test edilmiştir.

## 7- Kaynakça

- [1] Robocup yarışma web adresi: [www.robocup.org](http://www.robocup.org)
- [2] DARPA şehir içi araba yarışı internet adresi, <http://www.darpa.mil/grandchallenge>
- [3] The Ohio State University, DARPA grand challenge team TerraMax, [online]. Available <http://www.ece.osu.edu/terramax/>
- [4] The Ohio State University, DARPA grand challenge team ION, [online]. Available <http://www.ece.osu.edu/ion/>
- [5] Ozguner, U., Stiller, C., Redmill, K., “*Systems for Safety and Autonomous Behavior in Cars: The DARPA Grand Challenge Experience*”, Proceedings of the IEEE 95 (2): 397-412, 2007.
- [6] Redmill, K., Ozguner, U. ve Broggi, A., “*Team TerraMax and the DARPA grand challenge: A general overview*”, in Proceedings of Intelligent Vehicle Symposium, pp.232–237, 2004.
- [7] Yu, H., Chen, Q., ve Ozguner, U., “*Control System Architecture for TerraMax – The off-road intelligent navigator*”, 5th IFAC/EURON Symposium on Intelligent Autonomous Vehicle, 2004
- [8] The Ohio State University, DARPA grand challenge team OSU-ACT, [online]. Available <http://www.ece.osu.edu/osuact/>
- [9] Hart, P. E., Nilsson, N. J., ve Raphael, B., “*A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths*”. IEEE Trans. Syst. Sci. Cybern. SSC-4, 2, 100-107, 1968.
- [10] Dechter R., Pearl J., “*Generalized best first search strategies and optimality of A\**”, Journal of the association for computing Machinery, 32(3): 505-536, 1985
- [11] Chabini I, Lan S, “*Adaptations of the A\* algorithm for the computation of fastest paths in deterministic discrete-time dynamic Networks*”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 3 (1): 60-74, 2002.