



TORCS oyun ortamında bulanık mantık tabanlı akıllı bir otonom araç kontrol sistemi tasarımı

A fuzzy logic based intelligent autonomous vehicle control system design in the TORCS game environment

Ersin ARMAĞAN¹, Tufan KUMBASAR^{2*}

^{1,2}Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü, Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
armagane@itu.edu.tr, kumbasart@itu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.01.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 10.10.2018
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.77910
Özel Sayı Makalesi/ Special Issue Article

Öz

Bu çalışmada TORCS (The Open Racing Car Simulator) oyun ortamında bulanık mantık tabanlı otonom araç kontrol sistemi tasarımı yapılmıştır. Bu çalışmadaki amaç, aracın yol bariyerlerine çarpmasını engelleyerek hiçbir zarar almadan ve yol sınırları içerisinde kalmasını sağlayarak pistin dışına çıkmadan yarışı tamamlamasıdır. Bu bağlamda, aracın otonom bir şekilde ilerleyebilmesi için bulanık mantık ve klasik kontrol yapılarından oluşan akıllı bir sistem geliştirilmiştir. Aracın vites geçişleri otomatik hale getirildikten sonra aracın gerçekçi bir şekilde hızlanması/yavaşlamasını sağlamak ve de aracın sabit bir hızda gitmesi için bulanık mantık tabanlı bir gaz/fren kontrol sistemi tasarlanmıştır. Ayrıca, aracın pistin dışına çıkmadan ilerleyebilmesi ve de virajlarda pist içinde kalabilmesi için bulanık mantık tabanlı bir direksiyon kontrol sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu uzman tabanlı sistem sayesinde, aracın önünde bulunan virajın yönüne ve keskinliğine göre de aracın bulunması gereken uygun pozisyon hesaplanmıştır. Geliştirilen akıllı kontrol sistemin oyun performansına <https://youtu.be/qOvEz3-PzRo> bağlantısından ulaşılabilir.

Anahtar kelimeler: Akıllı kontrol sistemler, Bulanık mantık, Benzetim, TORCS.

Abstract

In this study, a fuzzy logic based autonomous vehicle control system is designed and tested in The Open Racing Car Simulator (TORCS) environment. The purpose of this study is that vehicle complete the race without to get any damage with preventing to hit to the barriers and to go out of the way with staying in boundary of the road. In this context, an intelligent control system composed of fuzzy logic and conventional control structures has been developed such that the racing car is able to compete the race autonomously. Once the vehicle's gearshifts have been automated, a fuzzy logic based throttle/brake control system has been designed such that the racing car is capable to accelerate/decelerate in a realistic manner as well as to drive at desired velocity. The steering control problem is also handled to end up with a racing car that is capable to travel on the road even in the presence of sharp curves. In this context, we have designed a fuzzy logic based positioning system that uses the knowledge of the curvature ahead to determine an appropriate position. The game performance of the developed intelligent control system can be observed from <https://youtu.be/qOvEz3-PzRo>

Keywords: Intelligent control systems, Fuzzy logic, Simulation, TORCS

1 Giriş

Günümüzde araba yarışı benzetimleri gitgide daha gerçekçi olmaktadır. Bunlardan en önemlilerinden biri de TORCS (The Open Racing Car Simulator)'dur. TORCS'u diğerlerinden ayıran faktörlerden biri gerçekçi araç ve çevre modellemelerine sahip olması ve geliştirmeye açık bir yazılım altyapısına sahip olmasıdır. TORCS genel kamu lisansına sahip (GPL) açık kaynaklı bir platform olup, birçok işletim sisteminde ve işlemci mimarisinde çalışmaktadır [1]. TORCS'da farklı pistler için farklı sürtünme katsayıları, yol genişlikleri ve çevresel faktörler tanımlanmıştır [2],[3]. Araçlar ise farklı aerodinamik özelliklere, çarpışma modellemelerine ve motor özelliklerine sahiptir [2]-[5]. Literatürde, TORCS oyun ortamında bir çok yapay zeka ve bilişimsel zeka uygulamaları bulunmaktadır. Bu uygulamaların birçoğunda makine öğrenmesi ya da oyun ortamından alınan verilerin optimizasyonu üzerinde durulmuştur. Bu çalışmalardan [13], şerit değiştirme problemini elle almış ve genetik programlama algoritması tabanlı sürücü destek sistemi geliştirmiştir. Bu çalışmaya benzer olarak başka bir çalışmada [14], yol bilgisini doğrudan kullanan ve işleyen bulanık mantık tabanlı bir hız kontrolörü önerilmiştir. Bu çalışmada, ayrıca vites geçişleri için aç ve hız kısıtlamaları konulmuş olup, sürücü davranışları göz önünde

bulundurulmuştur [14]. Ayrıca, kontrol yöntemleri de kullanılarak TORCS oyun ortamında otonom araç tasarımı yapılmıştır [11]-[13].

Bu çalışmada, bulanık mantık tabanlı akıllı bir otonom araç kontrol sistemi tasarımı yapılmış ve TORCS oyun ortamında performansı test edilmiştir. Bu yayında aracın yol bariyerlerine çarpmasını engelleyen ve hiçbir zarar almadan yarışı tamamlamasını, virajları yolun sınırları dışına çıkmadan dönebilmesini ve yol üzerinde istenilen pozisyonda ilerleyebilmesini sağlayan bulanık mantık ve klasik kontrol yapılarından oluşan bir sistem geliştirmiştir. Belirtilen bu amaçlar, benzetim ortamının getirmiş olduğu bazı kısıtlamalardan kaynaklanmaktadır. Örneğin yol genişliği yaklaşık 7-10 m iken aracın bu sınırların dışına çıkmaması amaçlanırken, aracın bariyerlere çarptığında zarar almasından dolayı, aracın sıfır hasarla benzetimi tamamlaması hedef alınmıştır. Bu bağlamda, aracın vites geçişleri otomatik hale getirildikten sonra aracın gerçekçi bir şekilde hızlanması/yavaşlamasını sağlamak için ve de aracın sabit bir hızda gitmesi için gaz ve fren kontrolü yapılmıştır. Bu bağlamda, uzman bilgisi kullanılarak bir Bulanık Hız Ayarlama Mekanizması (BHAM) tasarlanmıştır. Hız kontrolü yapıldıktan sonra aracın pistin içerisinde gidebilmesi ve virajlarda pist içinde kalabilmesi için direksiyon kontrol sistemi

geliştirilmiştir. Bu bağlamda, aracın önündeki viraj bilgisi kullanılarak virajın keskinliğine göre bir referans hız değeri hesaplanmıştır. Bu çalışmada, uzman bilgisi kullanılarak bir Bulanık Konum Ayarlama Mekanizması (BKAM) tasarlanarak aracın yolda bulunması gerektiği pozisyon çevrimiçi hesaplanmıştır. Böylece aracın virajlardaki performansı artırılmıştır. Tasarlanan bulanık mantık tabanlı akıllı kontrol sistemin performansı hem benzetimlerle hem de oyun ortamında toplanan sonuçlar ile gösterilmiştir.

Bölüm 2’de TORCS oyunu ve kullanılmış olan sürücü ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bölüm 3’te geliştirilen akıllı araç kontrol sistemi sunulmuştur. Bölüm 4’te ise benzetim çalışmaları sunulmuş olup, Bölüm 5’te sonuçlar ve çıkarımlar verilmiştir.

2 TORCS oyun ortamı

Şekil-1’de görüldüğü üzere TORCS gerçekçi bir yarış ortamı sunmaktadır. Bu çalışmada, TORCS ortamı ve bir Matlab/Simulink sürücüsü [15] için bağlantı sağlanmış olup oyun ortamından veri toplanmıştır.



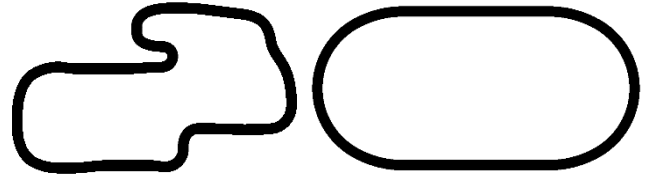
Şekil 1: TORCS ekran görüntüsü.

Tablo 1’de Simulink sürücüsü üzerinden ulaşılabilen sensörler verilmiştir. Tablo 2’de ise aracın kontrol edilebilen değişkenleri verilmiştir. Oyunda birden farklı karakteristikte pistler bulunmakta olup, bu çalışmada Şekil-2’de gösterilmiş olan “Motorway” ve “Ruudskogen” isimli pistler ele alınmıştır. Her iki pistin kendine göre karakteristikleri bulunmaktadır.

TORCS üzerinde araç veri güncelleme hızı 0.02s olduğu için tasarlanacak kontrolörlerin örnekleme zamanı $T = 0.02s$ olarak seçilmiştir [1]. Bir sonraki bölümde, açık çevrim sistem yanıtları incelendikten sonra aracın deneysel modelleri bulunmuştur ve gerekli kontrolörler tasarlanmıştır.

Tablo 1: Sensör bilgisi.

İsim	İsim	Birim
Hız	Arabanın hızı	[m/s]
Vites	Arabanın anlık vitesi	-
Açı Hatası	Araba ve yol eksenleri arasındaki açı	[rad]
Pozisyon Hatası	Arabanın orta çizgiye uzaklığı	[m]
Viraj Yarıçapı	Viraj yarıçapı	[m]
Motor Rpm	Motorun rpm değeri	[rpm]



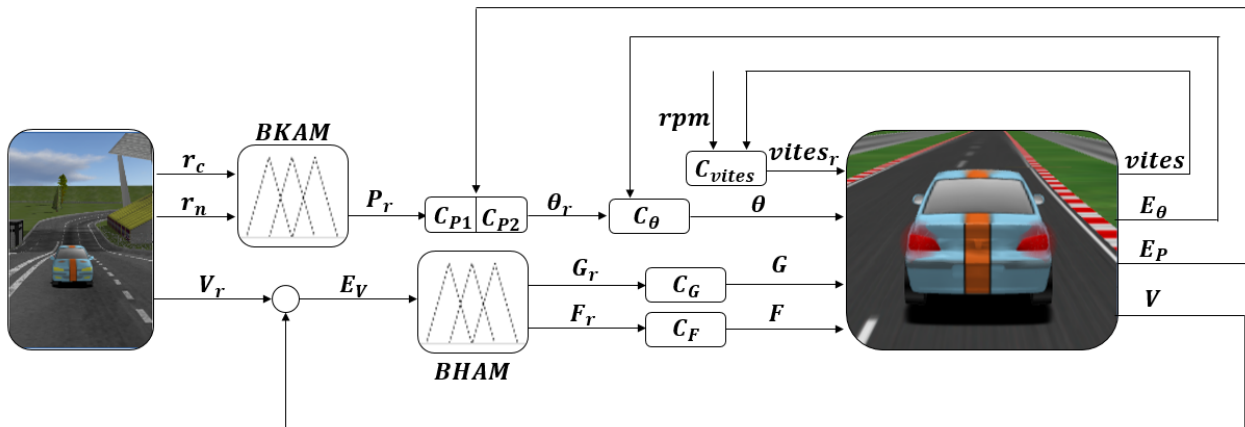
Şekil 2: “Ruudskogen” ve “Motorway” pistleri.

Tablo 2: Kontrol edilebilen değişkenler.

İsim	Aralık
Gaz (G)	0 ve 1 arası
Fren (F)	0 ve 1 arası
Direksiyon açısı (θ)	-1 ve 1 arası
Vites	-1 ve 7 arası

3 Akıllı otonom araç kontrol sistemi

Bu bölümde, Şekil-3’te blok diyagramı verilen bulanık mantık tabanlı akıllı araç kontrol sisteminin tasarımı anlatılmıştır.



Şekil 3: Önerilen bulanık mantık tabanlı otonom araç kontrol sistemi.

3.1 Vites kontrolü

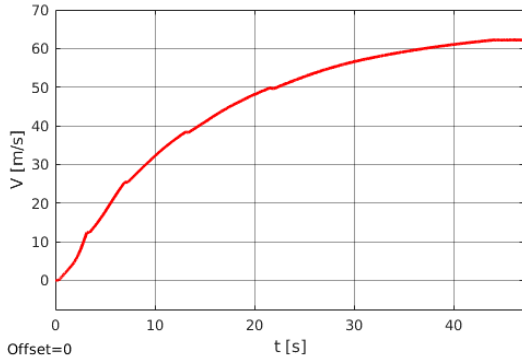
Aracın düzgün bir biçimde hızlanabilmesi için vites geçişlerinin otomatik bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir [3,7,8]. Bu çalışmada, Tablo 3'de belirtilen motor rpm değerlerine göre vites değişimleri otomatik hale getirilmiştir.

Tablo 3: Vites Değişimleri.

Vites	Vites Düşürme [rpm]	Vites Arttırma [rpm]
Boş Vites	-	1000
1. Vites	1000	5500
2. Vites	1500	6000
3. Vites	2000	6500
4. Vites	2500	6500
5. Vites	3000	6500
6. Vites	3200	-

3.2 Bulanık hız ayarlama mekanizması

Vites değişim fonksiyonu oluşturulduktan sonra, hız kontrol sistemini tasarlayabilmek için sabit bir gaz değeri uygulanarak sistemin modelinin elde edilmesi gerekmektedir. Elde edilen açık çevrim hız grafiği Şekil-4'te, motor rpm ve vites değişim grafiği Şekil-5'te verilmiştir. Vites değişiminin grafikte rpm ile birlikte gözlenebilmesi için 1000 ile çarpılmıştır.



Şekil 4: Hız grafiği.

Şekil-4'te Gözlenen hız grafiği birinci dereceden sistem karakteristiği göstermektedir. Denklem (1)'de, veriden elde edilen hız-gaz ilişkisini temsil eden transfer fonksiyonu verilmiştir.

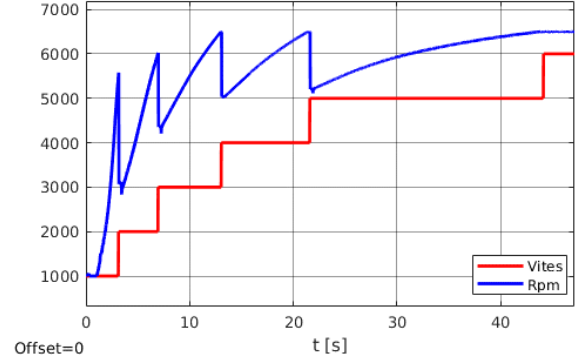
$$GH(z) = \frac{0.08843}{1 - 0.9986z^{-1}} \quad (1)$$

Elde edilen transfer fonksiyonu için P tipi bir ayrık kontrolör tasarlanması uygun bulunmuş olup ($T = 0.02s$), Denklem (2)'de verilmiştir. Tasarlanan kontrolör için performans kriterleri aşım yapmaması ve yerleşme zamanının açık çevrim sistem yanıtına göre küçük olmasıdır.

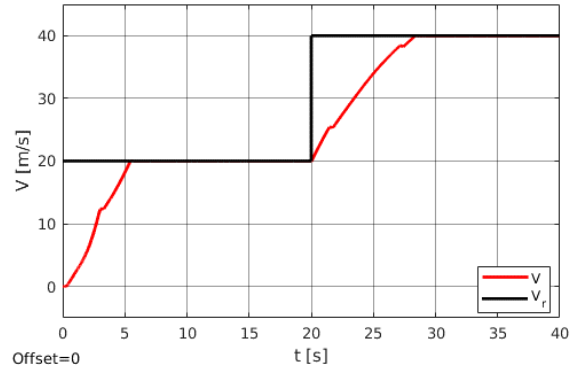
$$C_G(z) = 7.2761 \quad (2)$$

Elde edilen kapalı çevrim sistem yanıtı ve kontrol işaretleri Şekil 6'da ve Şekil 7'de sırasıyla verilmiştir. Görüldüğü gibi tasarlanan kontrol sistemin performansı oldukça tatmin edici

olup, aşım yapmadan ve kısa bir süre içerisinde değişen hız referans işaretlerini takip etmiştir.



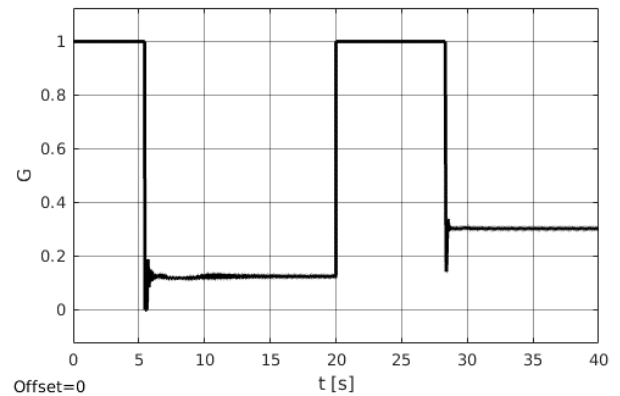
Şekil 5: Rpm ve vites değişim grafiği.



Şekil 6: Hız kontrol sistemin performansı.

Aracın hızını azaltabilmesi için ise frenlemeye ihtiyaç vardır. Fren karakteristiği de hız karakteristiği ile benzer olduğundan, fren için de P tipi bir ayrık kontrolör ($T = 0.02s$) tasarlanmıştır. Performans kriteri olarak yine kapalı çevrim sistem cevabının aşım yapmaması ve yerleşme zamanının açık çevrim sistem yanıtına göre daha hızlı olması seçilmiştir. Ancak, TORCS oyun ortamında fren ve gaz aynı anda basıldığında frenin gaz üzerinde önceliği olduğu için kontrolör katsayısı göreceli olarak daha küçük seçilmesi uygun görülmüştür.

$$C_F(z) = 1.2 \quad (3)$$

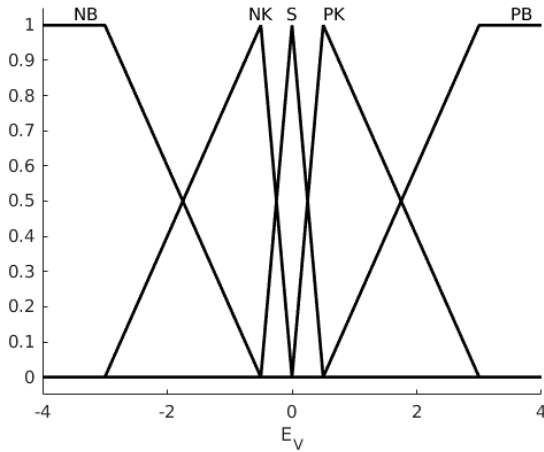


Şekil 7: Uygulanan gaz kontrol sinyali.

Gaz ve fren için kontrolör tasarlandıktan sonra ne zaman gaza veya frene basılacağını ayarlamak için bir BHAM tasarlanmıştır. Tasarlanan bu akıllı mekanizmanın girişi hız hatası (E_V) olup, çıkışları gaz ve fren değişkenleridir. E_V için Şekil 8'de gösterilen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Bu şekilde, üyelik fonksiyonları Negatif Büyük (NB), Negatif Küçük (NK), Sıfır (S), Pozitif Küçük (PK) ve Pozitif Büyük (PB) olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan üyelik fonksiyonları kullanılarak uzman bilgisine dayalı Tablo 4'te verilen kurallar tasarlanmıştır.

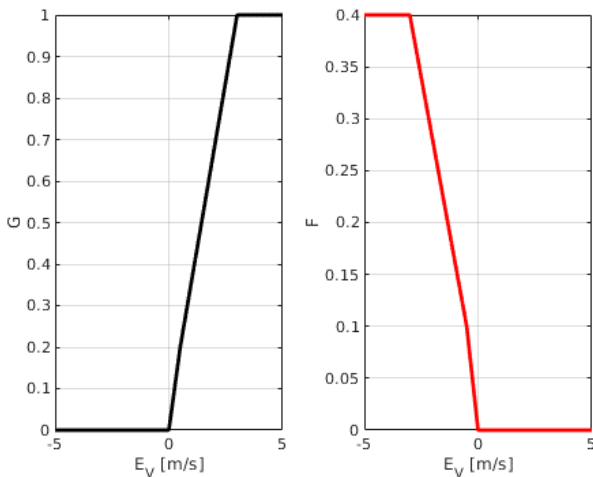
Tablo 4: BHAM'nın kural tablosu.

Giriş	Çıkış	
	Gaz (G)	Fren (F)
Hız Hatası (E_V)		
NB	0	0.4
NK	0	0.1
S	0	0
PK	0.2	0
PB	1	0



Şekil 8: Hız hatası (E_V) üyelik fonksiyonu.

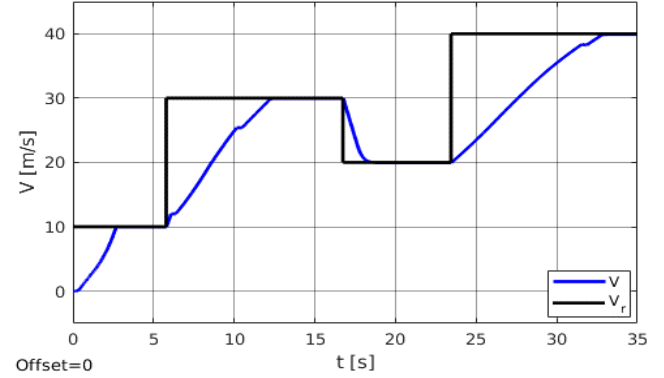
Tasarlanan bulanık sistemde oluşan yüzeyler Şekil 9'da verilmiştir.



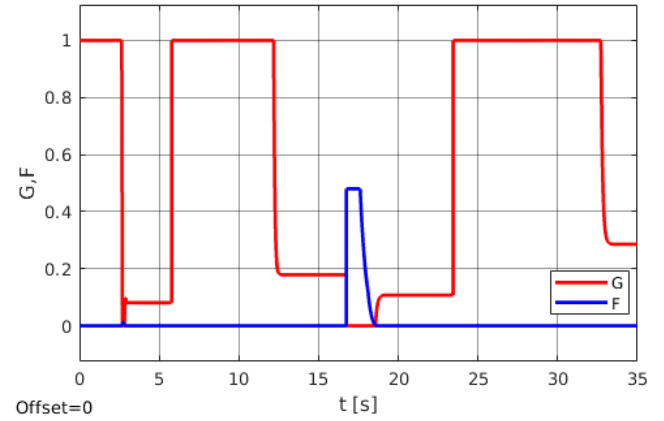
Şekil 9: Gaz ve fren yüzeyleri.

BHAM'nın tasarlanmasından sonra, TORCS oyundaki "Motorway" pistinde farklı hız referansları için kontrol sistemin performansı test edilmiş olup, elde edilen kapalı çevrim sistem yanıtı ve kontrol işaretleri Şekil 10'da ve Şekil 11'de verilmiştir.

Tasarlanan akıllı hız kontrol mekanizmasının hızlanma ve yavaşlama kontrol performansının yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 10: Bulanık hız kontrol sistemi yanıtı.



Şekil 11: Gaz-fren kontrol işaretleri.

3.3 Direksiyon kontrolü

Aracın pist üzerinde düzgün bir şekilde ilerleyebilmesi ve virajları dönebilmesi için direksiyon kontrol sistemi tasarlanmıştır. Direksiyon kontrolü açı ve pozisyon kontrolü olmak üzere kaskat bir kontrol yapısından oluşmaktadır [1,3,4,7,8]. Açı kontrolünün gerçekleştirilebilmesi için açık çevrim sistem yanıtı incelenmiş olup, aracın hızını 30 m/s'ye sabitleyerek $T = 0.02s$ için Denklem (4)'te direksiyon açısı ile aracın açısı arasındaki dinamik ilişkiyi veren ölü zamanlı bir transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Denklemden görüldüğü üzere, kullanılan Matlab sürücüsünden dolayı, elde edilen transfer fonksiyonunda 32 örneklilik gecikme mevcuttur. Bu gecikme tam olarak $L = 32T = 0.64s$ 'ye karşılık gelmektedir.

$$GH_{\theta}(z) = \frac{-0.00027z^2 - 0.00055z - 1.67510^{-05}}{z^2 - 1.968z + 0.9678} z^{-32} \quad (4)$$

Elde edilen transfer fonksiyonu aracılığıyla, açı kontrolü için P tipi ayrık bir kontrolör tasarlanmıştır. Tasarım kriteri olarak ise kapalı çevrim kontrol sistemin en kısa sürede istenilen direksiyon açısı değerine yakınsaması hedeflenmiştir. Elde edilen kontrolör şu şekildedir:

$$C_{\theta}(z) = 1.5 \quad (5)$$

Pozisyon kontrolörün tasarımı için, Denklem (6)'da aracın pozisyonu ile direksiyon açısı arasındaki transfer fonksiyonu

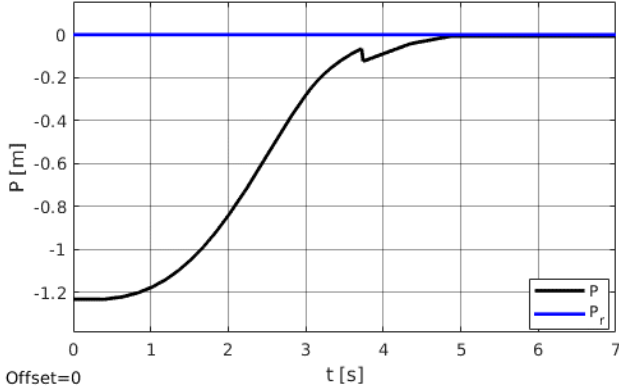
kullanılmıştır. Bu model, oyun ortamından toplanan veriler aracılığıyla elde edilmiştir.

$$GH(z) = \frac{0.05403z + 0.03509}{z^2 - 1.27z + 0.2695} \quad (6)$$

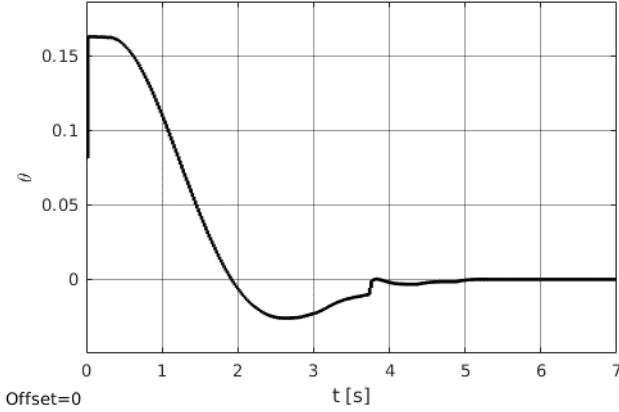
Elde edilen transfer fonksiyonu aracılığıyla Denklem (7)'de verilen ayrık PD kontrolör ($T = 0.02s$), tasarlanmıştır. Aşımın sıfır olması bu kontrolör tasarlanırken kullanılan bir performans kriteridir.

$$C_{P1}(z) = 0.0881 - 0.000881 \frac{(z-1)}{(0.02z)} \quad (7)$$

“Motorway” pistinde; aracın orta çizgiden ilerleyebilmesi için direksiyon açısı referans değerine (θ_r) sıfır uygulanarak, tasarlanan sistemin performansı incelenmiştir. Şekil 12’de ve 13’te sırasıyla kapalı çevrim sistem yanıtı ile uygulanan kontrol işaretleri verilmiştir.



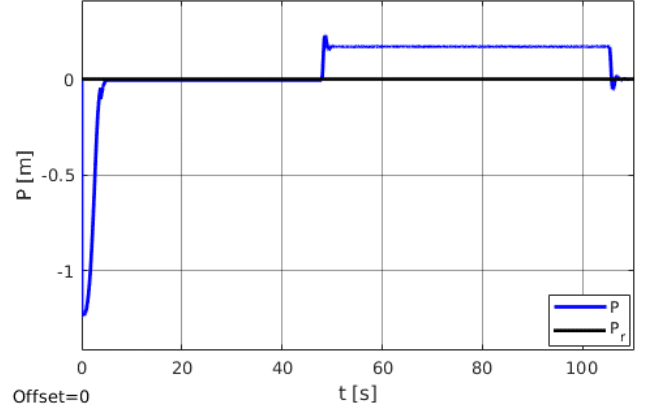
Şekil 12: Pozisyon sistem yanıtı.



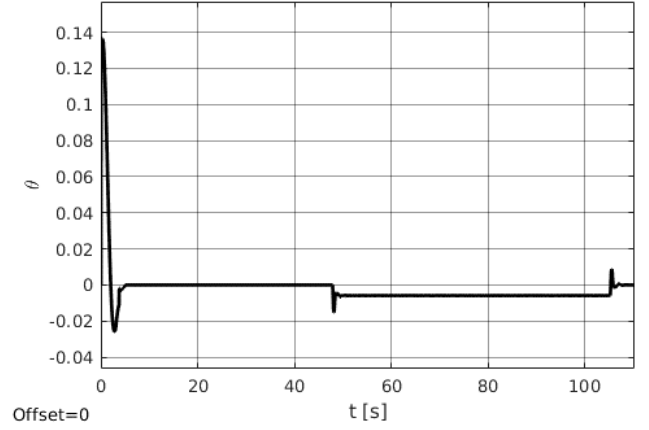
Şekil 13: Pozisyon kontrol işareti.

Pozisyon kontrolünde tasarlanan PD kontrolör performansı sistemdeki doğrusal olmayan dinamiklerden dolayı virajlarda azalmaktadır. Şekil 14’te ayrık PD kontrolörün “Motorway” pistindeki performansı gösterilmektedir. Yaklaşık ellinci saniyede aracın viraja girdiği sistem yanıtındaki değişimden gözlenebilmektedir. Şekil 15’te ise PD kontrolörün kontrol işareti verilmiştir. Bu bağlamda, tasarlanan PD tipi kontrolöre göre virajlarda daha aşım ile sonuçlanacak ve etkin olacak bir PID kontrolör tasarlanmıştır.

$$C_{P2}(z) = 0.088 + 0.05 \frac{0.02z}{z-1} - 0.00088 \frac{(z-1)}{0.02z} \quad (8)$$

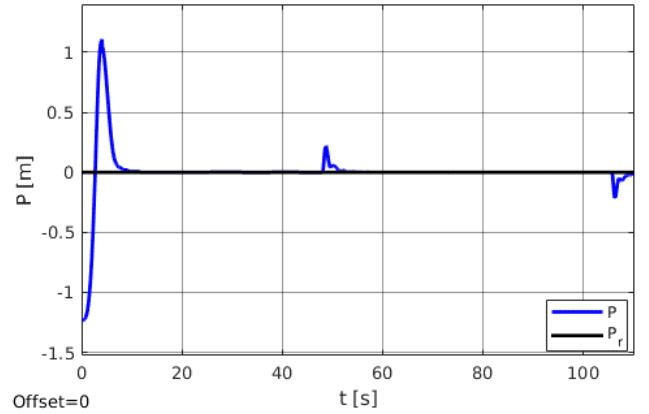


Şekil 14: PD kontrolör pozisyon sistem yanıtı.



Şekil 15: PD kontrolör pozisyon kontrol işareti.

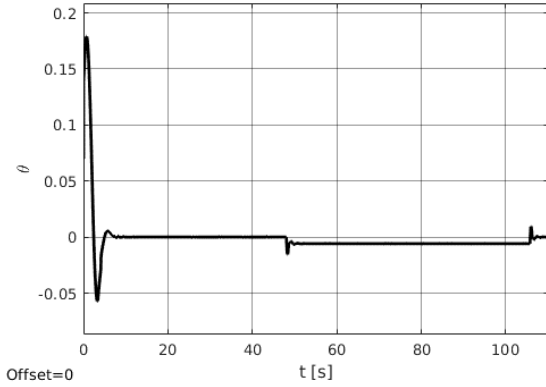
PID kontrolör için kapalı çevrim sistem yanıtı Şekil 15’de, kontrol işareti ise Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 16: PID kontrolör pozisyon kontrol işareti.

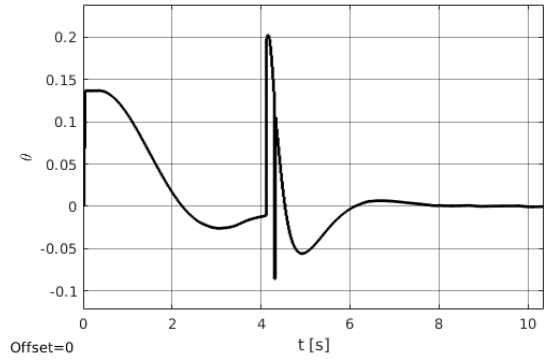
Aşağıda tanımlanan koşullara göre, tasarlanan bu iki kontrolör birbirleri arasında geçiş yapmaktadır.

$$\begin{aligned} &\text{Eğer } r_c = 0 \text{ ve } r_n = c \text{ ve } P > c, \text{ o halde } C_{P2} \\ &\text{Eğer } r_c = 0 \text{ ve } r_n \neq c \text{ o halde } C_{P1} \\ &\text{Eğer } r_c \neq 0 \text{ ve } r_n = c \text{ ve } P > c, \text{ o halde } C_{P1} \\ &\text{Eğer } r_c \neq 0 \text{ ve } r_n \neq c \text{ o halde } C_{P2} \end{aligned} \quad (9)$$

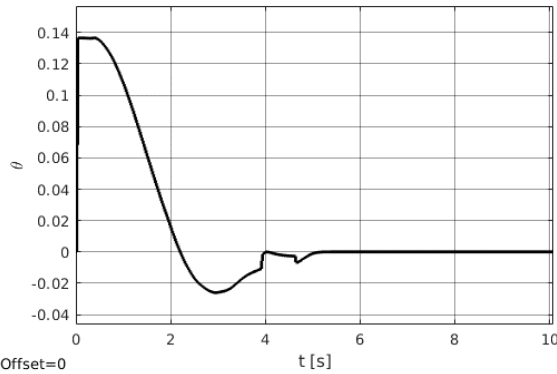


Şekil 17: PID kontrolör pozisyon kontrol işareti.

Viraj esnasında, PD kontrolörden PID kontrolöre geçiş sırasında kontrol işaretinde Şekil 18'de görüldüğü gibi süreksizlikler gözlenmiştir. Bu süreksizliklerin önüne geçebilmek için, kontrolör geçişlerinde darbesiz (bumpless) geçiş yöntemi kullanılarak geçiş sırasındaki süreksizlik engellenmiştir [16]. Oluşan yeni kontrol işareti Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 18: Anahtarlamalı PD-PID yapısının kontrol işareti.



Şekil 19: Darbesiz PD-PID yapısının kontrol işareti.

3.4 Bulanık konum ayarlama mekanizması

Aracın virajlardaki dönüş performansını arttırmak için virajın önceden belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, TORCS Simulink sürücüsünün kaynak kodunda değişiklik yapılarak; aracın, hızı ile doğru orantılı olarak yolun ilerisinde belli bir mesafeye bakması sağlanmıştır. Bu sayıların kullanılan araca göre seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, ileriye bakılacak mesafe aşağıdaki ifade ile bulunmuştur. Bu formülde mesafe

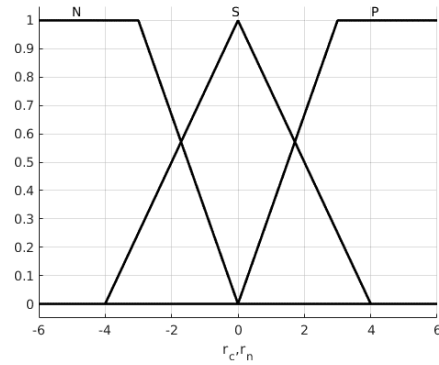
için d , sabit sayı için c , aracın hızı için V ve katsayı için k kullanılmıştır [17].

$$d = c + V k \quad (10)$$

Bu mesafe içerisinde eğer viraj algılanırsa araç hızını azaltmaktadır. Virajda aracın dönebileceği maksimum hız (V_r) merkezci kuvvet ile hesaplanmış olup, eğer aracın hızı viraj öncesi hesaplanan hızdan büyük ise frenleme yapılmıştır.

$$V_r = \sqrt{r g \mu} \quad (11)$$

Yerçekimi kuvveti g , sürtünme katsayısı μ ile ve virajın yarıçapı r ile gösterilmiştir.

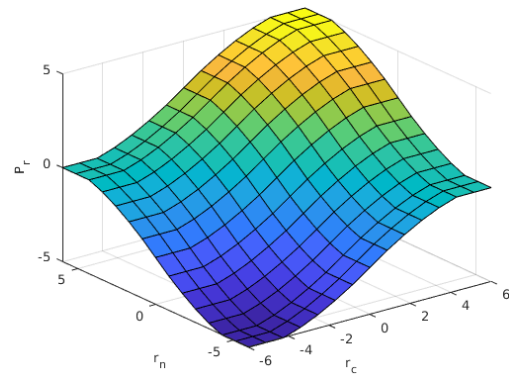


Şekil 20: Giriş üyelik fonksiyonları.

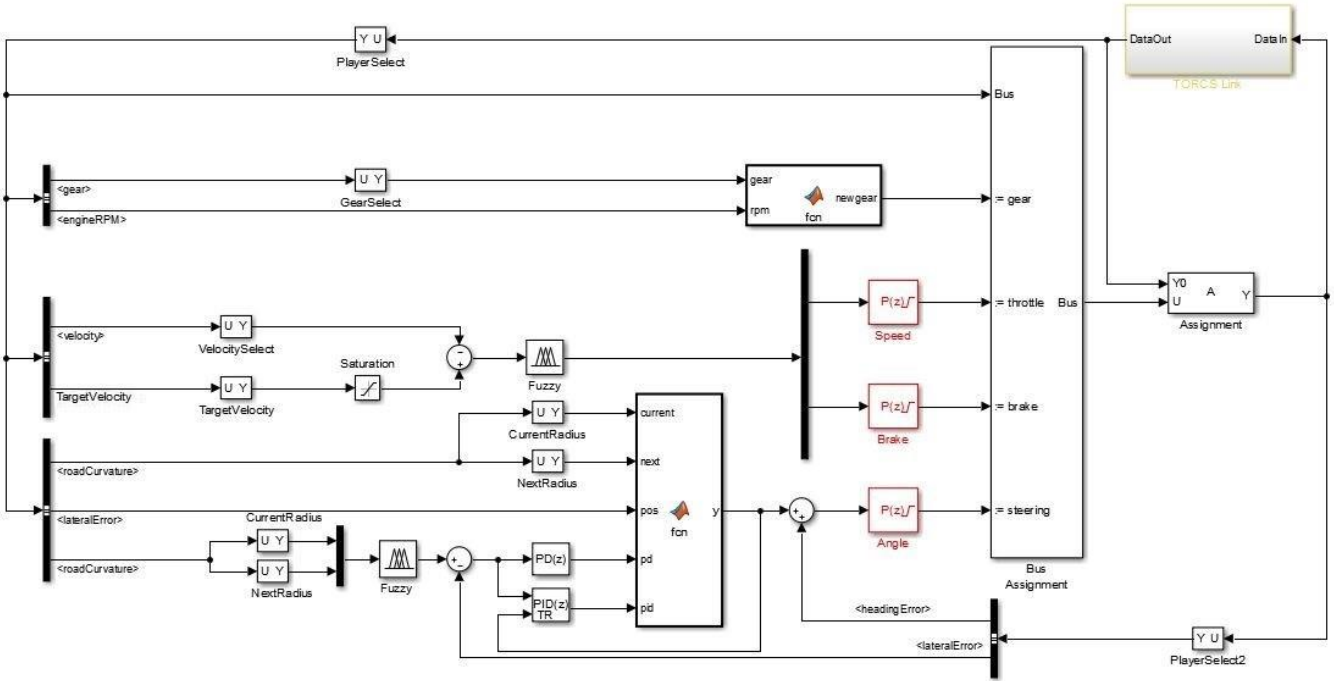
Aracın viraj içerisinde dönmesi gereken konumu hesaplamak için BKAM tasarlanmıştır. Aracın içinde bulunduğu yol segmentinin yarıçapı (r_c) ve yolun ilerisindeki segmentin yarıçapına (r_n) göre pozisyon hesabı yapılmaktadır. Kullanılan üyelik fonksiyonları Şekil 20'de verilmiştir. Bu üyelik fonksiyonları Negatif (N), Sıfır (S), Pozitif (P) olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan bulanık kurallar Tablo 5'te verilmiştir. BKAM'nın yüzeyi Şekil 21'de verilmiştir.

Tablo 5: BKAM'nın Kural Tablosu.

		r_n		
		N	S	P
r_c	N	-5	-2.5	0
	S	-2.5	0	+2.5
	P	0	+2.5	+5



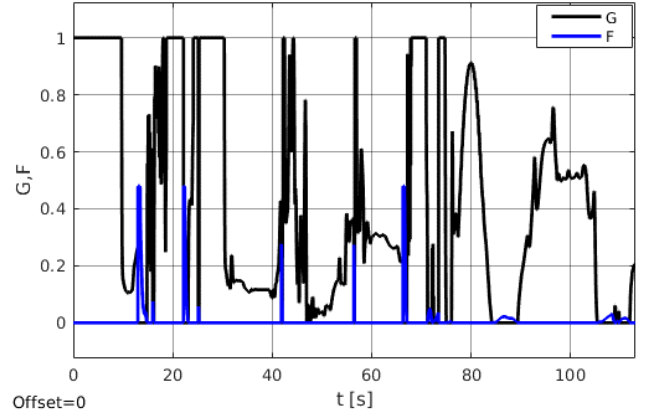
Şekil 21: Kontrol yüzeyi.



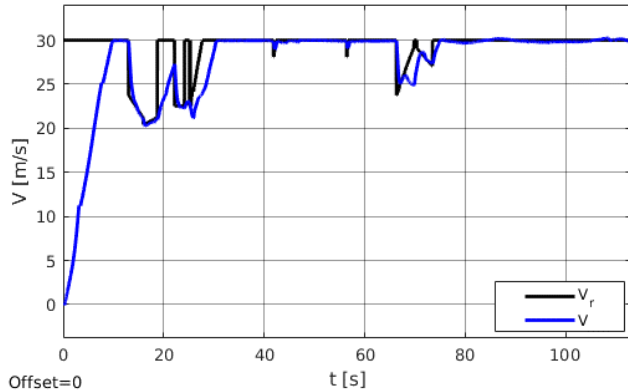
Şekil 22: Tasarlanan bulanık mantık tabanlı akıllı otonom araç kontrol sisteminin Simulink blok diyagramı.

4 Benzetim sonuçları

Tüm kontrolörler uygulandıktan sonra oluşturulan Simulink bloğu Şekil 22’de verilmiştir. “Ruudskogen” isimli pistin tümü için elde edilen kapalı çevrim hız grafiği Şekil 23’te ve gaz-fren kontrol işaretleri Şekil 24’te sırasıyla verilmiştir. Sonrasında kapalı çevrim pozisyon yanıtı Şekil 25’te, direksiyon açısı ise Şekil 26’da gösterilmiştir. Şekil 27’de aracın bir tur boyunca izlemiş olduğu yol görülebilir ve Şekil 2’de verilen Ruudskogen pistinin yörüngesi ile karşılaştırıldığında aracın performansının tatmin edici olduğu söylenebilir. Geliştirilen bulanık mantık tabanlı akıllı kontrol sisteminin oyun performansına <https://youtu.be/qOvEz3-PzRo> bağlantısından ulaşılabilir.



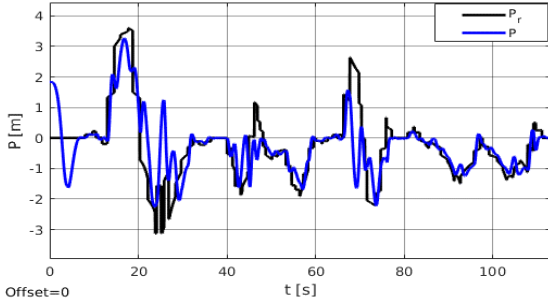
Şekil 24: Gaz-fren kontrol işaretleri.



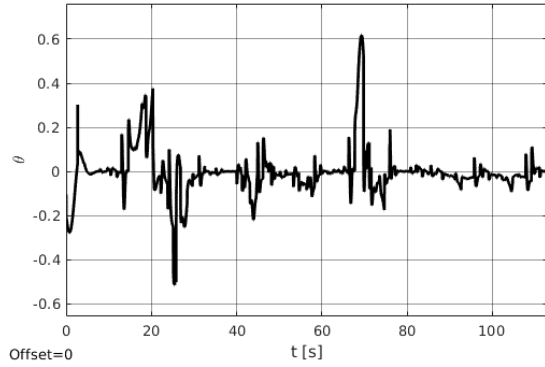
Şekil 23: Bulanık hız kontrol sistemi yanıtı.

5 Sonuçlar

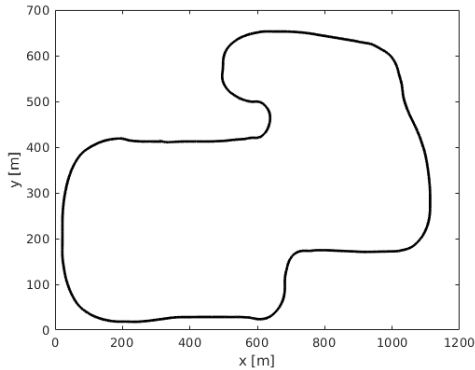
Bu çalışmada, bulanık mantık tabanlı otonom araç kontrol sistemi tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan akıllı kontrol sisteminin performansı TORCS oyun ortamı üzerinde test edilmiştir. Vites geçişleri otomatik hale getirilmiş, aracın sabit hızda gidebilmesi için hız kontrolü yapılmıştır. Hız kontrolü yapılırken fren ve gaz geçişleri BHAM ile sağlanmıştır. Aracın yolun dışına çıkmadan ilerleyebilmesi için de direksiyon kontrolü uygulanmıştır. Aracın virajı dönebileceği maksimum hızın hesaplanmasıyla ve aracın virajda bulunması gereken konumun BKAM yardımıyla hesaplanmasıyla aracın virajlardaki performansı iyileştirilmiştir. Önerilen akıllı kontrol yapısının, deneysel veriler ışığında, yüksek bir başarıma sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 25: Pozisyon sistem yanıtı



Şekil 26: Direksiyon açısı.



Şekil 27: Aracın izlediği yörünge

6 Kaynaklar

- [1] Wymann B, Espié E, Guionneau C, Dimitrakakis C, Coulom R, Sumner A. "TORCS: The Open Racing Car Simulator". <http://torcs.sourceforge.net> (13.10.2016).
- [2] Muñoz J, Gutierrez G, Sanchis A. "Controller for TORCS created by imitation". *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games*, Milan, Italy, 7-10 September 2009.
- [3] Muñoz J, Gutierrez G, Sanchis A. "A human-like TORCS controller for the Simulated Car Racing Championship". *IEEE Conference on Computational Intelligence and Games*, Copenhagen, Denmark, 18-21 August 2010.

- [4] Cardamone L, Loiacono D, Lanzi PL. "Learning Drivers for TORCS through Imitation Using Supervised Methods". *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games*, Milan, Italy, 7-10 September 2009.
- [5] Loiacono D, Prete A, Lanzi PL, Cardamone L. "Learning to Overtake in TORCS Using Simple Reinforcement Learning". *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, Barcelona, Spain, 18-23 July 2010.
- [6] Butz MV, Lönneker TD. "Optimized Sensory-motor Couplings plus Strategy Extensions for the TORCS Car Racing Challenge". *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games*, Milan, Italy, 7-10 September 2009.
- [7] Lun TW, Leary J. "School of Environment and Technology MSC Automotive Engineering MEM47 Automotive Project. University of Brighton". <http://itsuite.it.brighton.ac.uk/jjl/reports/torcs1.pdf> (13.10.2016).
- [8] Onieva E, Pelta DA, Alonso J, Milanés V, Pérez J. "A modular parametric architecture for the TORCS racing engine". *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games*, Milan, Italy, 7-10 September 2009.
- [9] Kemmerling M, Preuss M. "Automatic adaptation to generated content via car setup optimization in TORCS". *IEEE Conference on Computational Intelligence and Games*, Copenhagen, Denmark, 18-21 August 2010.
- [10] Preuss M, Quadflieg J, Rudolph G. "TORCS sensor noise removal and multi-objective track selection for driving style adaptation". *IEEE Conference on Computational Intelligence and Games*, Seoul, Güney Kore, 31 August-3 September 2011.
- [11] Kim TS, Na JC, Kim KJ. "Optimization of an autonomous car controller using a self-adaptive evolutionary strategy". *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 9(73), 1-15, 2012.
- [12] Kim KJ, Seo JH, Park JG, Na JC. "Generalization of TORCS car racing controllers with artificial neural networks and linear regression analysis". *Neurocomputing*, 88, 87-99, 2012.
- [13] Yakami G, Tanev I, Shimohara K, Katagiri S, Ohsaki, M. "Automobile driving support system evolved by Genetic Programming". *Region 10 Conference (TENCON)*, Singapur, Singapur, 22-25 November 2016.
- [14] Onieva E, Pelta DA, Milanés V, Pérez J. "A fuzzy-rule-based driving architecture for non-player characters in a car racing game". *Soft Computing*, 15(8), 1617-1629, 2011.
- [15] McAree O. "TORCSLink". <https://github.com/VerifiableAutonomy/TORCSLink> (13.10.2016).
- [16] Åström K, Hägglund T. *Advanced PID Control*, New York, USA, ISA, 2005.
- [17] Wymann B. "Torcs Robot Tutorial". <http://www.berniw.org/tutorials/robot/tutorial.html> (13.10.2016).