



Araştırma Makalesi / Research Article

**HİYERARŞİK EŞ ZAMANLI DURUM MAKİNELERİ MİMARİSİ
KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN ZEKİ TAŞIT ETMENLERİ İLE
GERÇEKÇİ TRAFİK ORTAMI BENZETİMİ**

Murat DEMİR*, Önder Haluk TEKBAŞ

Kara Harp Okulu, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bakanlıklar-ANKARA

Geliş/Received: 06.02.2013 Kabul/Accepted: 14.06.2013

ÖZET

Trafik ortamı gibi birçok dinamik unsurun (taşıtlar, yayalar, trafik ışıkları vb.) rol aldığı büyük çaplı benzetimlerde, gerçeklik seviyesinin artırılabilmesi için, söz konusu unsurların bir dereceye kadar otonomiye sahip olmaları ve bu sayede önceden belirlenmiş kurallar çerçevesinde özgün ve gerçekçi davranış biçimleri sergilemeleri gerekmektedir. Bu bildiride, yeni geliştirilen iki seviyeli Hiyerarşik Eş Zamanlı Durum Makineleri (HEZDM) mimarisi kullanılarak, otonom davranışlar sergileyen zeki taşıt etmenlerinin etkin ve verimli olarak modellenmesi ve söz konusu zeki etmenler ile bir sürücü eğitim simülatoründe gerçekçi şehir içi trafik ortamının canlandırılması anlatılmaktadır. Yapılan deneysel çalışma ve analizler neticesinde modelimizin geçerliliği hakkında başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Hiyerarşik eş zamanlı durum makineleri, zeki etmenler, sürücü davranış modeli, etmen tabanlı benzetim.

SIMULATION OF REALISTIC TRAFFIC ENVIRONMENT WITH INTELLIGENT VEHICLE AGENTS WHICH WERE DEVELOPED BASED ON HIERARCHICAL CONCURRENT STATE MACHINES FRAMEWORK

ABSTRACT

In the big scale simulation applications like traffic environment (in which there are a lot of dynamic objects like vehicles, pedestrians and traffic lights), the dynamic objects should have autonomy to some extent in order to present unique and realistic behaviour patterns complying with predetermined set of rules. In this paper, we present the procedure of modelling the behaviour of intelligent vehicle agents efficiently, based on a unique two layer Hierarchical Concurrent State Machines (HCSM) framework. A realistic urban traffic environment typical of real life was created in a driving simulator. Experiments and evaluations demonstrated satisfactory results in terms of validity of our model.

Keywords: Hierarchical concurrent state machines, intelligent agents, driver behavior model, agent based simulation.

*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: mdemir@kho.edu.tr, tel: (312) 417 51 90/4333

1. GİRİŞ

Öğrencilerin, benzetim araçlarında (simülatorlerde) pratik yaparak öğrenmelerini sağlamak, birçok kabiliyet için etkili bir eğitim metodudur. Son yıllarda, teknolojiadaki gelişmeler ve maliyetlerin aşağı çekilmesiyle beraber, sürücü eğitimlerinde simülatorlerin daha fazla ve etkin olarak kullanılmaya başlandığını görüyoruz [1-6].

Sürücü simülatorlerinden verimli bir şekilde yararlanmak için, 3B sanal trafik ortamının yanı sıra bu ortamda yer alan taşıtlar ile diğer unsurlara (trafik ışıkları, yayalar, vb.) ait davranışların da gerçekçi olması gerekmektedir.

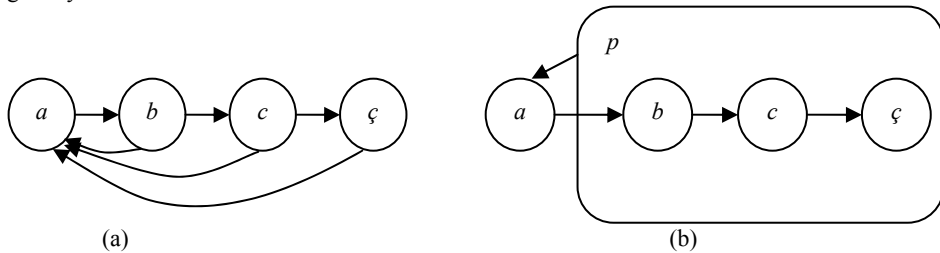
Trafik simülasyon modellerini incelediğimizde, trafik ortamında otonom ve bir dereceye kadar zeki davranış sergileyen unsurların etmen tabanlı olarak modellendiği görülmektedir. Trafik simülasyonuna yönelik birçok uygulamada, akıllı etmenlerin, araç sürücüleri ile araçlarının, trafik ışıklarının, akıllı ulaşım sistemlerinin, yayaların davranışlarının ve birbirleriyle etkileşimlerinin modellenmesinde kullanıldığı görülmektedir [7].

Bu bildiriye, yeni geliştirilen iki seviyeli Hiyerarşik Eş Zamanlı Durum Makineleri (HEZDM) mimarisi ile gerçekçi ve otonom davranışlar sergileyen zeki taşıt etmenlerinin davranışlarının etkin ve verimli olarak modellenmesi ve bir sürücü eğitim simülatoründe gerçekçi şehir içi trafik ortamının canlandırılması anlatılmaktadır. Çalışmada kullanılan TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatoründe gerçekçi bir trafik ortamının benzetimi amacıyla, sürücülere ait karar verme ve uygulama süreçleri; farklı seviyelerdeki (stratejik, taktik ve kontrol seviyesi) sürüş görevlerini de içerecek şekilde benzetim modeline dahil edilmiştir. Modelin geçerliliğini tespit etmek amacıyla yapılan deneysel çalışmada elde edilen verilere tek yönlü ANOVA testi uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

2. HİYERARŞİK EŞ ZAMANLI DURUM MAKİNELERİ (HEZDM)

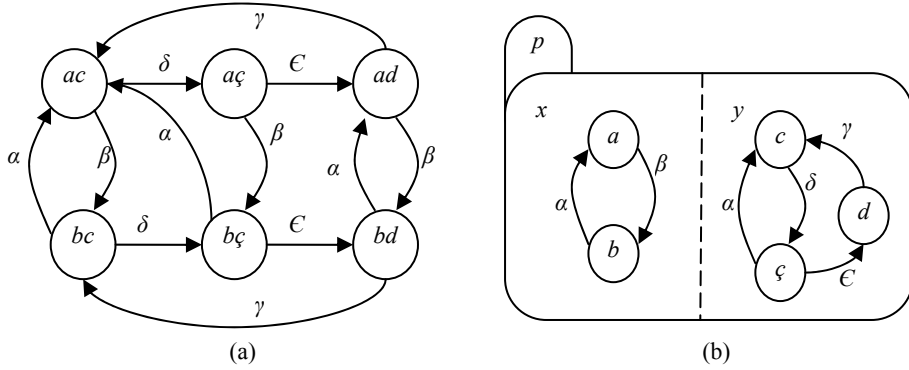
Karmaşık tepkisel (reaktif) sistemleri modellemek için genellikle, durum grafikleri (state charts) yapısı üzerine bina edilmiş HEZDM mimarisinden faydalanılmaktadır [8,9]. HEZDM mimarisi üzerine bina edildiği durum grafikleri yapısı [9,10];

- Sistemi tanımlayan durumların, *üst*-durum ve *alt*-durum(lar) olarak hiyerarşik şekilde gruplandırılmasına ve iç içe kümelenmesine izin verir.
- Durumlar arasındaki tekrarlanan geçişler, “DİŞLAYAN VEYA” (EXCLUSIVE-OR) durum grupları ile önlenmektedir (Şekil 1). Bu şekilde gruplanmış *alt*-durumların meydana getirdiği *üst*-durumu *küme* olarak adlandırabiliriz. Burada, *üst*-durum, *alt*-durum ve *küme* terimleri durum grafiklerinin hiyerarşik yapılanmasını anlatmak için kullanılmakla beraber, aslında her biri sistemin ya da nesnenin içinde bulunduğu bir *durumu* temsil etmektedirler. Eğer sistem durumu Şekil 1'deki *p kümesinde* ise, aslında *p kümesinin* içinde yer alan *b, c* veya *ç alt*-durumlardan sadece birinde demektir. *P kümesinden a* durumuna geçiş, sistemin *p kümesi* içerisinde hangi *alt*-durumda olduğuna bakılmaksızın gerçekleşmektedir (Şekil 1.b). Bu nedenle, *p kümesi* içindeki *alt*-durumlardan *a* durumuna geçişleri Şekil 1.a'daki gibi ayrı ayrı tanımlamaya gerek yoktur.



Şekil 1. Durumlar arasındaki tekrarlanan geçişlerin durum geçiş diyagramı ve durum grafiği ile gösterimi (a) Durum geçiş diyagramı, (b) Durum grafiği [9]

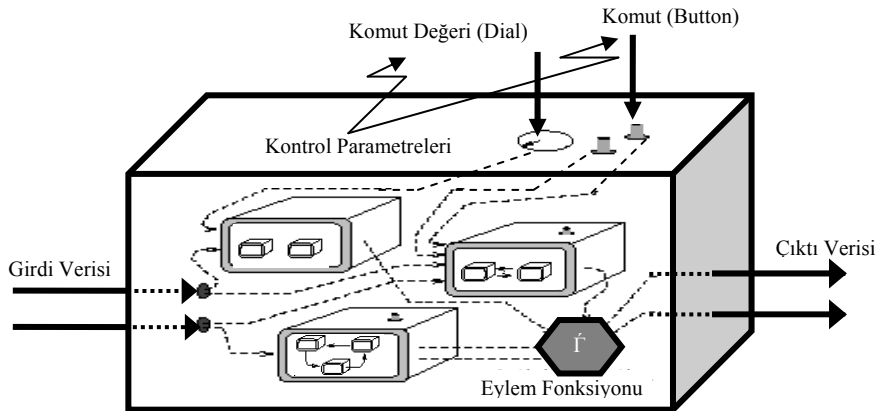
• Eş zamanlı etkileşimler sonucu sistemdeki durumların sayısının üssel olarak artması “VE” (AND) durum grupları ile önlenmektedir (Şekil 2). Şekil 3.10’da, a ve b durumları x kümesinin, c, ç ve d durumları y kümesinin alt-durumlarıdır; x ve y kümeleri de p kümesinin alt-durumlarıdır. Buradan da anlaşılacağı üzere, her bir durum yada durum kümesi, eğer mevcutsa, bir üst-durum kümesinin alt-durumudur. Eğer sistem ya da nesne, Şekil 2’deki p kümesinde ise, aslında p kümesinin içinde yer alan x ve y alt-durumlarından her ikisinde birden bulunuyor demektir. Bu yapı aynı zamanda, eş zamanlı işlemlere imkân vermektedir. Örneğin, sistem başlangıçta b ve ç alt-durumlarda olsun. Eğer α olayı gerçekleşirse, sistem eş zamanlı olarak a ve c alt-durumlarına geçiş yapacaktır.



Şekil 2. Eş zamanlı durumların durum geçiş diyagramı ve durum grafiği ile gösterimi (a) Durum geçiş diyagramı, (b) Durum grafiği [9]

Bu bazı temel özellikleri anlatılan durum grafikleri (statecharts) yapısı üzerine bina edilen HEZDM mimarisinde, farklı durumları temsil eden durum makineleri hiyerarşik bir yapı içerisinde tutulmaktadır. Bu sayede, model çok daha anlaşılabilir bir yapıya kavuşurken, karmaşık ve eş zamanlı davranışlar kolayca modellenilebilmektedir.

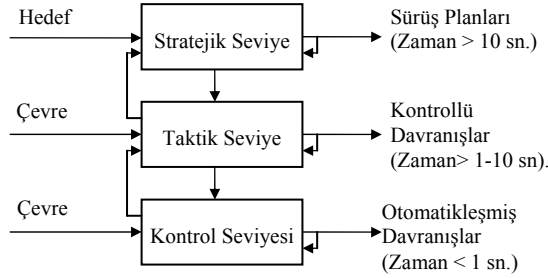
Herhangi bir HEZDM’yi, girdi ve çıktı verisi akışı, iç içe kümelenmiş sonlu durum makineleri, kontrol parametreleri ile eylem fonksiyonundan oluşan bir ‘kapalı kutu’ (black box) olarak görebiliriz. Aşağıdaki şekilde, tipik bir HEZDM yapısında yer alan ve iç içe kümelenmiş durum makinelerinin hiyerarşisi, durumlar arası geçişler ve veri akışı görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Tipik bir HEZDM durum grafiği [11]

2.1. Sürüş Faaliyeti ve Sürüş Görevleri

Taşıt sürmek, sistem kuramına göre; dinamik ve karmaşık bir sistem olan trafik ortamında, dengede kalmak için sürekli bir uyum ve adaptasyon sürecini gerektiren iştir [5]. Yıllardır insanların nasıl taşıt sürdüklerine dair birçok araştırma yapıla gelmiştir. Araştırmalar, sürücülerin araç kullanırken, üç farklı seviyede tanımlanan sürüş görevlerini yerine getirdiklerini göstermiştir [13] (Şekil 4).



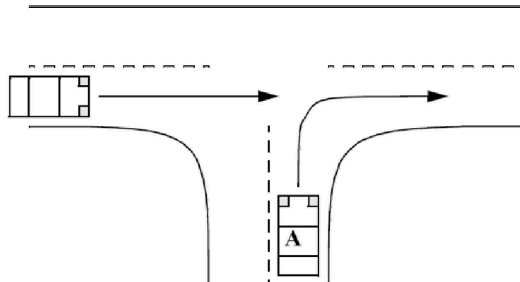
Şekil 4. Sürüş faaliyetine ilişkin sürüş görevlerinin genel yapısı [13]

- Stratejik seviyedeki sürüş görevleri: Sürücü, hangi ulaşım aracını süreceğini, araç sürmek ile ilgili nihai hedefinin ne olduğunu belirlemekte ve hedefine ulaşmak için gideceği yönü tayin etmektedir. Bu seviyede aldığı kararlar, sürücünün hedeflerinden ve çevreden etkilenmektedir.

- Taktik seviyedeki sürüş görevleri: Sürücü, trafik ortamında karşısına çıkan ve yönetmesi gereken, örneğin kavşaklardan geçmek, hangi şeritten ve hızda gideceğini belirlemek, sollama yapmak veya durmak gibi durumlar ile ilgili kısa süreli hedefler belirlemekte ve bu amaçla aracına manevra yaptırmaktadır. Bu seviyede sürücü, öncelikle etrafındaki diğer sürücülerle ve trafik işaretleriyle ilgilenmektedir. Sürücü, davranışlarını o anda gelişen duruma göre belirlemekte, ancak stratejik seviyedeki hedefinden de etkilenmektedir.

- Kontrol seviyesindeki sürüş görevleri: Sürücünün, stratejik ve taktik seviyede verdiği kararlar doğrultusunda araca manevra yaptırmak için gerekli olan kontrol faaliyetlerini otomatik olarak gerçekleştirdiği seviyedir. Sürücü bu seviyede, manevranın nasıl uygulanacağına karar verir (direksiyonu ne kadar çevireceği, gaz/fren pedalına ne kadar basacağı gibi).

Her seviyedeki sürüş görevleri, Şekil 4'de belirtilen hiyerarşiyeye uygun olarak, diğer seviyelerle etkileşim içindedir. Bu durum, Şekil 5'de bir örnekle açıklanmıştır.



Şekil 5. 'A' taşıtının T-şeklindeki kavşağa yaklaşma durumu

Şekil 5'de gösterilen durumda 'A' taşıtının sürücüsü, hangi yöne döneceğine (stratejik seviye); sol taraftan yaklaşan taşıtın geçmesini bekleyip, beklemeyeceğine (taktik seviye); fren yapacağına karar vermektedir.

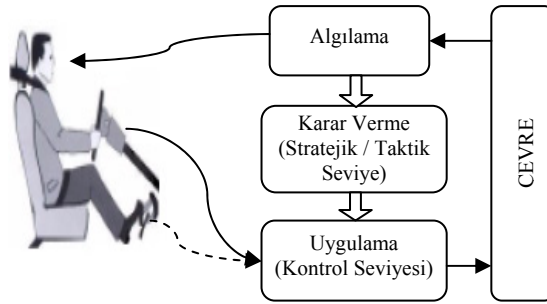
pedalına ne kadar kuvvet uygulayacağına ve direksiyon simidini ne kadar döndüreceğine (kontrol seviyesi) karar verip, uygulamaktadır.

3. SÜRÜCÜ DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ

Sürücülerin, sürüş faaliyetini gerçekleştirmek için sergilediği davranışlar, literatürde “sürücü davranışları” ifadesi ile tanımlanmaktadır. Sürücü davranışlarını canlandırmak için geliştirilen modeller genel olarak, algılama, karar verme ve uygulama süreçlerini içermektedir [14] (Şekil 6).

Doğası itibarıyla çok karmaşık olan sürücü davranışlarını, “sürücü davranış biçimleri”nin bileşkesi olarak tanımlayabiliriz [4,14].

Söz konusu “sürücü davranış biçimleri”, belirli bir mantık gözetilerek, bu çalışma kapsamında stratejik seviye, taktik seviyesi ve kontrol seviyesi sürüş görevleri ile uyumlu olacak şekilde gruplandırılmış ve aşağıda sunulan sürücü davranış biçimi modelleri geliştirilmiştir.



Şekil 6. Sürücü davranış modellerinin içerdiği süreçler ve sürüş görevleri ile ilişkisi

Stratejik seviyedeki sürüş görevlerine ilişkin sürücü davranış biçimi modelleri;

- Taşıt cinsi seçim modeli (Taşıt etmenleri, Türkiye’de şehir içi trafiğindeki taşıt cins ve sayılarını yansıtan istatistikler ile uyumlu olacak şekilde, ayrı bir yazılım parçası tarafından otomatik olarak üretilmekte ve sanal ortama konulmaktadır [15]).
- Hedef (adres) ve yön tayini modeli (Bu çalışma kapsamında taşıt etmenlerinin gideceği adresler ve yönler rastgele belirlenmektedir.).

Taktik seviye sürüş görevlerine ilişkin sürücü davranış biçimi modelleri;

- Yolcu indirme/bindirme modeli (sadece ticari taşıtlar için geçerlidir),
- Dönüşler/kavşak geçişi modeli,
- Serbest sürüş modeli (hangi şeritten, hangi hızda gideceğini belirler).

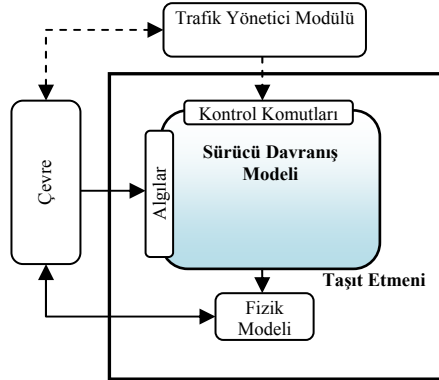
Kontrol seviyesi sürüş görevlerine ilişkin sürücü davranış biçimi modelleri;

- Yol takibi modeli (şerit değiştirme; şerit/koridor takibi alt modellerini kapsar)
- Sürat adaptasyonu modeli
- Taşıt takibi modeli
- Taşıt durdurma modeli

3.1. Model Mimarisi ve Özellikleri

Bu çalışmada, METEKSAN Sistem firması tarafından geliştirilmiş olan TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü geliştirme ortamı olarak kullanılmıştır. Simülatördeki sanal trafik ortamında yer alan taşıt etmenlerine (minibüs, otomobil, ticari taksi vb.) ait model mimarisi aşağıda sunulmuştur (Şekil 7). TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründeki sanal trafik ortamı,

dünyadaki benzerleri ile karşılaştırmalı olarak incelenmiş; gerçek trafik ortamında taşıtlar arasında gözlenen etkileşimleri sanal ortamda canlandırmak için gerekli olan parametrik sürücü davranış modeline sahip olmadığı ve bunun sonucu olarak arzu edilen ölçüde gerçekçi olmadığı görülmüştür [15,16].



Şekil 7. TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatoründeki taşıt etmeni modeli [17]

TRAFİKENT sürücü eğitim simülatoründeki taşıt etmenlerine ait mevcut sürücü davranış modeli, bu çalışma kapsamında yeni geliştirilen iki katmanlı HEZDM mimarisi üzerine bina edilerek yeniden yapılandırılmıştır (Şekil 8).

Bu çalışmada kullanılan HEZDM mimarisi, trafik araştırmaları ve sürücü eğitimine yönelik benzetim uygulamalarında, genel olarak sürücü davranışlarının modellenmesinde kullanılmaktadır [17,18]. Durum grafikleri (state-charts) yapısı üzerine bina edilen HEZDM mimarisinde, farklı durumları temsil eden durum makineleri hiyerarşik bir yapı içerisinde tutulmaktadır. Bu sayede, karmaşık ve eş zamanlı davranışlar kolayca modellenebilmektedir.

İki katmanlı HEZDM mimarisi yapısı, sürücü davranış modelini dünyadaki benzerlerinden ayıran ayrıç özelliğdir. Bu sayede; sürücülere ait algılama, karar verme ve uygulama süreçleri, farklı seviyelerdeki (stratejik, taktik ve kontrol seviyesi) sürüş görevlerini içerecek şekilde yeniden modellenebilmiştir.

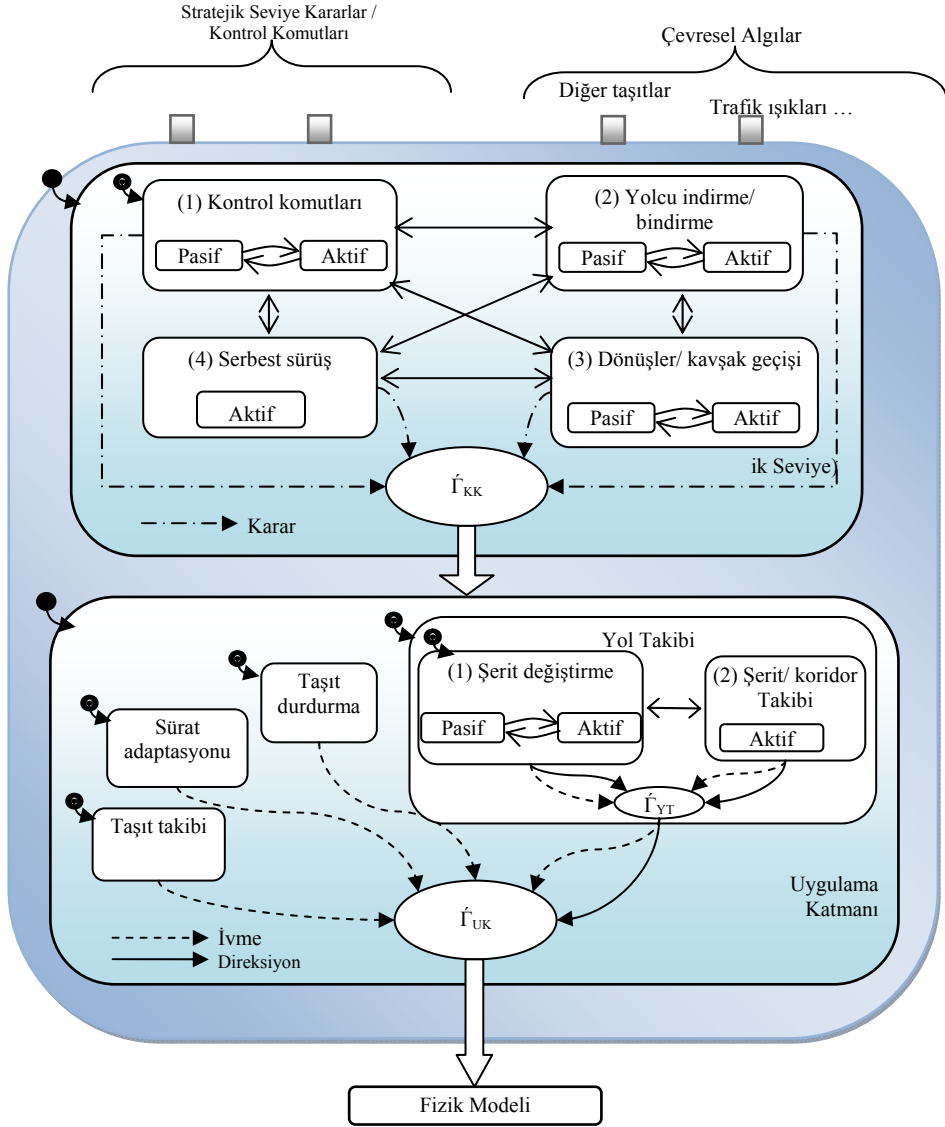
Sürücü davranış modelindeki birinci katman; sürücünün stratejik seviyede verdiği kararlar (gideceği adres, vb.) doğrultusunda aracına manevra yaptırmak için trafik ortamında karşılaştığı ve yönetmesi gereken yolcu indirme/bindirme (sadece ticari taşıtlar için), dönüşler/kavşak geçişi ve serbest sürüş gibi taktik seviyedeki sürüş görevlerine yönelik alınan kararların modellendiği "Karar Katmanı"dır. Ayrıca, birinci katmanda yer alan "Kontrol komutları" durum makinesi ile taşıt etmenine gerektiğinde müdahale etmek de mümkündür. Bu katman içinde yer alan durum makineleri, taktik seviyedeki sürücü davranış biçimi modellerini temsil etmektedirler. Aynı anda, öncelik (priority) tabanlı olarak sadece bir durum makinesi "Karar Katmanı'nın kontrolünü elinde bulundurmakta ve taktik seviye kararları vermektedir. Eylem fonksiyonu Γ_{KK} ile taktik seviyede verilen kararlar (aracın hangi şeridi takip edeceği, hangi hızda gideceği, trafik ışıklarına uyma/uymama) bir sonraki katmana aktarılmaktadır.

İkinci katman ise; sürücünün taktik seviyede verdiği kararlar doğrultusunda taşıtına manevra yaptırmak için; taşıt takibi, şerit takibi, şerit değiştirme, yavaşlama ve durma gibi sürekli dikkat ve kontrol gerektiren kontrol seviyesindeki sürüş görevlerinin modellendiği (sürücünün direksiyonu hangi yöne ne kadar döndürüleceği, gaza veya frene ne kadar basacağı belirlendiği) "Uygulama Katmanı"dır. Bu katman içinde yer alan ve kontrol seviyesi sürücü davranış biçimi modellerini temsil eden durum makinelerinin hepsi eşzamanlı olarak, taktik seviyede verilen kararlara göre, farklı ivmelenme değerleri üretmektedirler. "Yol Takibi" durum

makinesi ayrıca direksiyon verisi de üretmektedir. Eylem fonksiyonu Γ_{UK} , kontrol seviyesinde üretilen farklı ivmelenme değerlerinden en küçüğünü, direksiyon değerinin ise aynısını “Fizik Modeli”ne aktarmaktadır. Eylem fonksiyonu Γ_{YT} ise, “Yol Takibi” durum makinesinin içinde bulunan “Şerit Değiştirme” ve “Şerit/Koridor Takibi” durum makinelerinden, öncelik (priority) tabanlı olarak kontrolü elinde bulunduran durum makinesinin ürettiği ivme değeri ile direksiyon değerini eylem fonksiyonu Γ_{UK} 'na aktarmaktadır.

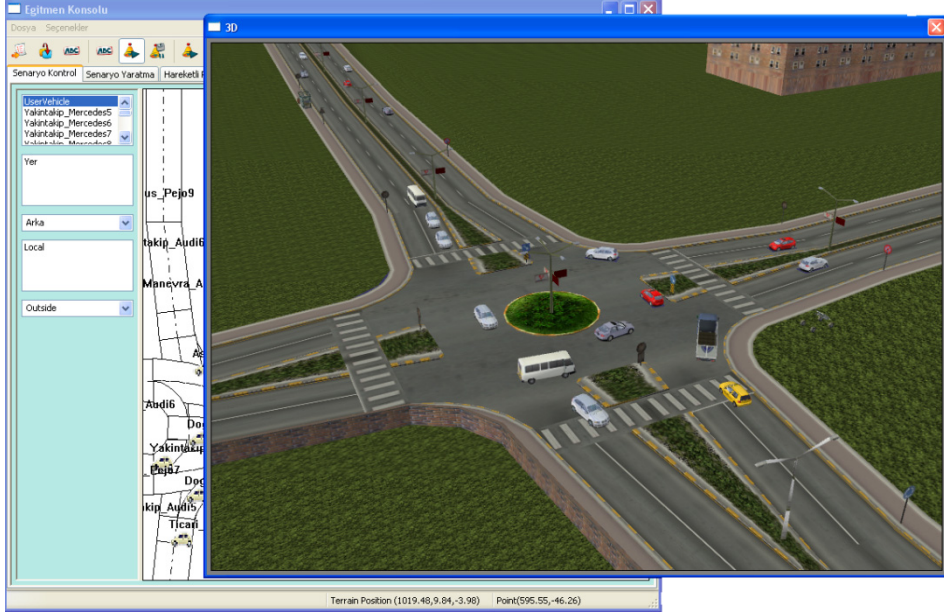
Bu çalışma kapsamında geliştirilen iki katmanlı HEZDM mimarisi yapısına sahip sürücü davranış modeli ile, literatürde yer alan tek katmanlı sürücü davranış modellerinden [18,19] farklı olarak;

- Zeki taşıt etmenleri, Şekil 1’de belirtilen çeşitli seviyelerdeki (stratejik, taktik ve kontrol seviyesi) sürüş görevleri ve davranış sıklıkları ile uyumlu olacak şekilde, farklı frekanslarda (Karar verme katmanı saniyede 1-2 defa; Uygulama katmanı ise saniyede 20-30 defa) koşturulabilen yazılım kod parçaları sayesinde etkin ve verimli bir şekilde modellenmiştir.
- Aynı seviyedeki sürüş görevlerine ilişkin sürücü davranış biçimi modelleri, eş zamanlı koşturulacak şekilde yapılandırılmıştır.
- Sürücü davranış biçimi modellerinin, çıktı değişkenleri (ivmelenme ve direksiyon kontrol değeri) için ürettiği, birbirinden farklı değişken değerleri arasından, amaca en uygun değerini seçilmesi ya da türetilmesini sağlayan eylem fonksiyonu (Γ_{KK} , Γ_{YT} ve Γ_{UK}) basitleştirilmiştir.



Şekil 8. Yeni geliştirilen sürücü davranış modeli

Yeni geliştirilen iki katmanlı HEZDM mimarisi yapısına sahip sürücü davranış modeli kullanılarak üretilen zeki taşıt etmenlerinin, trafik lambası olmayan bir kavşakta birbirleri ile etkileşimini gösteren bir enstantane Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Zeki taşıt etmenlerinin trafik ortamında etkileşimlerini gösteren bir enstantane

4. GEÇERLİLİK (VALİDASYON) ÇALIŞMASI

Bu çalışmada, yeni geliştirilen iki seviyeli Hiyerarşik Eş Zamanlı Durum Makineleri mimarisi ile gerçekçi ve otonom davranışlar sergileyen zeki taşıt etmenlerinin davranışlarının etkin ve verimli olarak modellenmesi ve bir sürücü eğitim simülöründe gerçekçi şehir içi trafik ortamının canlandırılması amaçlanmıştır. Zeki taşıt etmenlerinin yer aldığı şehiriçi trafik ortamı benzetiminin arzu edilen ölçüde gerçekçi olup, olmadığının belirlenmesi için geçerlilik (validasyon) çalışması yapılmıştır.

4.1. Materyal

Çalışmaya bir kurumda çalışan/stajyerlik yapan toplam 31 kişi gönüllü olarak katılmıştır. Çalışmaya katılan katılımcılardan birisi, ehliyetini yeni almış olmasına rağmen daha önceden taşıt kullanma tecrübesi olduğu için analiz dışı bırakılmıştır. Değerlendirmeye alınan 30 katılımcının (11 bayan, 19 erkek) yaşları 19 ile 51 arasında değişmektedir, yaş ortalaması 29,6 (ss=7,1)'dir. Katılımcıların sürücülük deneyimleri 0 ile 31 yıl arasında değişmektedir (ort.=6,6, ss=7,6). Katılımcıların çoğunluğu üniversite mezunu (%60), geri kalan katılımcılar ise yüksek okul (%10), lise (%26,7) ve ilköğretim (%3,3) mezunudur. Katılımcılar en çok şehir içi yollarda (ort.=3,7, ss=1,7), en az şehir dışı yollarda (ort.=2,3, ss=1,1) taşıt kullandıklarını beyan etmişlerdir.

Katılımcıların 15'i tecrübeli (en az 6 yıldır aktif sürücülük deneyimine sahip) sürücü, geriye kalan 15 katılımcı ise acemi (ehliyet sınavını geçerek ehliyet almaya hak kazanmış yada en fazla 1 yıllık ehliyet sahibi) sürücüdür.

Katılımcılardan, sürücü eğitim simülöründe, zeki taşıt etmenlerinin yer aldığı şehiriçi trafik ortamı benzetiminde 20 dakikalık bir test sürüşü yapmaları istenmiştir. Performans Değerlendirme ve Raporlama Modülü (PDRM) vasıtasıyla, test süresince simülörden veri toplanmıştır. Söz konusu veriler, katılımcıların;

- Kaza sayılarını (diğer taşıtlarla ya da başka nesnelere çarpışma dahil),
- Yoldan çıkma sayılarını (ters yola girme dahil),
- Kırmızı ışık ihlali sayılarını,
- Takip mesafesi ihlali sayılarını,
- Şerit ihlali (10 sn. süresince) sayılarını,
- Dönüş sinyali ihlali sayılarını,
- Geçiş önceliği ihlali sayılarını içermektedir.

4.2. Deneysel Bulgular ve Tartışma

Katılımcıların sürüş testi öncesinde doldurdıkları bilgi formundaki ve sürüş testi performansları hakkında PDRM ile elde edilen veriler SPSS-11 paket programı ile analiz edilmiştir. Özellikle, bu çalışmasının hedef kitlesi olan acemi sürücüler ile tecrübeli sürücülerin oluşturdukları gruplardan elde edilen veriler arasında anlamlı bir fark olup, olmadığını belirlemek amacıyla veriler üzerinde *tek yönlü* ANOVA testi uygulanmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Analiz Sonuçları

	Sürüş Deneyimi	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	En az - En çok
Kaza sayısı	acemi	60,53	32,93	8,50	13-116
	tecrübeli	16,00	11,06	2,86	3-45
Yoldan çıkma sayısı	acemi	64,2	25,4	6,55	22-100
	tecrübeli	33,2	12,6	3,25	13-59
Şerit ihlali sayısı	acemi	6,66	4,48	1,16	1-13
	tecrübeli	4,40	4,22	1,09	0-15
Kırmızı ışık ihlali sayısı	acemi	1,00	1,07	0,28	0-3
	tecrübeli	0,27	0,46	0,12	0-1
Geçiş önceliği ihlali sayısı	acemi	7,53	3,17	0,80	3-15
	tecrübeli	5,33	2,38	0,61	2-10

Katılımcıların daha önceki sürüş deneyimleri (acemi; tecrübeli) dikkate alındığında; kaza sayıları ($F=24,650$, $p=0,000$), yoldan çıkma sayıları ($F=17,957$, $p=0,000$), şerit ihlali sayıları ($F=9,127$, $p=0,005$), kırmızı ışık ihlali sayıları ($F=5,965$, $p=0,021$) ve geçiş önceliği ihlali sayıları ($F=4,682$, $p=0,039$) ortalamaları istatistiksel açıdan anlamlı bir şekilde birbirinden farklıdır.

Yukarıda sunulan verilerden de anlaşılacağı üzere, katılımcılar arasından acemi olanların, tecrübeli olanlardan ortalama olarak daha fazla kaza yaptıkları, yoldan çıktıkları, şerit ihlali, kırmızı ışık ihlali ve geçiş önceliği ihlali yaptıkları görülmüştür. Özellikle, kaza sayıları ve yoldan çıkma sayıları ortalamalarına ilişkin veriler gerçek trafik ortamına ilişkin araştırma sonuçları ve istatistikî veriler ile örtüşmektedir [20,21].

Bununla birlikte, sürüş deneyimlerine (acemi; tecrübeli) göre, katılımcıların takip mesafesi ihlali ve dönüş sinyali ihlali sayıları ortalamaları incelendiğinde; tecrübeli sürücülerin daha az ihlal yaptıkları görülmekte, ancak grup ortalamaları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bunun sebepleri arasında; tecrübeli sürücülerin acemilere oranla daha süratli kullanmalarını, taşıtın ön konsolu modellenmediği için görüntüde referans eksikliği ve tecrübeli sürücülerin testi daha az önemseyip, az özen göstermelerini sayabiliriz.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yeni geliştirilen iki seviyeli HEZDM mimarisi ile gerçekçi ve otonom davranışlar sergileyen zeki taşıt etmenlerinin davranışlarının etkin ve verimli olarak modellenmesi ve bir sürücü eğitim simülatöründe gerçekçi şehir içi trafik ortamının canlandırılması hedeflenmiştir.

Zeki taşıt etmenlerinin yer aldığı şehir içi trafik ortamı benzetiminin arzu edilen ölçüde gerçekçi olup, olmadığı belirlenmesi için geçerlilik (validasyon) çalışması yapılmıştır. Yapılan geçerlilik (validasyon) çalışmasında elde edilen deneysel bulgulara göre; yeni geliştirilen sürücü davranış modelinin gerçekçi olduğu değerlendirilmektedir [22].

Ayrıca, söz konusu sürücü davranış modeli parametrik bir yapıya sahip olduğundan, bu modele sahip zeki taşıt etmenleri kullanılarak oluşturulan şehir içi trafik ortamı benzetim modelinin, sürücü davranışları ve trafik güvenliğine yönelik araştırmalar için kontrollü bir test ve çalışma ortamı sunacağı değerlendirilmektedir.

Acknowledgments / Teşekkür

TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörünün geliştirme ortamı olarak kullanılmasına ve bu çalışmanın ortaya çıkmasına imkân sağlayan METEKSAN Sistem firmasına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR / REFERENCES

- [1] T. Hirata, "Development of driving simulation system: movic-t4 and its application to traffic safety analysis in underground urban expressways", Doktora tezi, Tokyo Institute of Technology Department of Civil Engineering, Tokyo, 2-3, 20-22, 157-160 (2005).
- [2] M. Pursula, "Simulation of traffic systems-An overview", Journal of Geographic Information and Decision Analysis, 3(1):1-9 (1999).
- [3] S. Bayarri, M. Fernandez and M. Perez, "Virtual reality for driving simulation", Communications of the ACM, 39(5):72-76 (1996).
- [4] S. Das, B.A. Bowles, C.R. Houghland, S.J. Hunn and Y. Zhang, "Microscopic Simulations of Freeway Traffic Flow," Thirty-Second Annual Simulation Symposium, San Diego, 79 (1999).
- [5] A. Hoeschen and E. Bekiaris, "Inventory of driver training needs and major gaps in the relevant training procedures", Commission of the European Communities- Competitive and Sustainable Growth Programme (GRD1-1999-10024), Brüksel, 21-72 (2001).
- [6] N. Sümer, A.B. Ünal ve A. Birdal, "Assessment Of Hazard Perception Latencies Using Real Life And Animated Traffic Hazards: Comparison Of Novice And Experienced Drivers", Proceedings of the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Iowa, 488-494 (2007).
- [7] Y. Li, S. Ma, W. Li and H. Wang, "Microscopic urban traffic simulation with multi-agent system", Proceedings of the 2003 Joint Conference of the Fourth International Conference on Information, Communications and Signal Processing, China, 1835 - 1839 (2003).
- [8] David Harel, et al. "On the Formal Semantics of Statecharts." Proceedings of the 2nd IEEE Symposium on Logic in Computer Science, IEEE Press, NY, 1987. pp. 54-64.
- [9] Lucas, P.J., "An object-oriented language system for implementing concurrent, hierarchical, finite state machines", Yüksek lisans tezi, University of Illinois, Illinois, 1-16 (1993).
- [10] Harel, D., "A visual formalism for complex systems," Science of Computer Programming, 8: 231-274 (1987).
- [11] Cremer, J., Papelis, Y., "The software architecture for scenario control in Iowa driving simulator", Proc. of 4th Computer Generated Forces and Behavioral Representation Conference, Orlando, 523-532 (1994).

- [12] Okutanoğlu, A., İşler, V., “Simülasyon sistemlerinde esnek senaryo altyapıları“, Birinci Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı, Ankara, 115-126 (2005).
- [13] R. Sukthankar, “Situation awareness for tactical driving“, Doktora tezi, Robotics Institute Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 15-29, 38-48 (1997).
- [14] J. Archer and I. Kosonen, “The potential of micro-simulation modelling in relation to traffic safety assessment“, Proceedings of the ESS Conference, Hamburg, 427-431 (2000).
- [15] M. Demir, Developing intelligent agents for traffic education. Ph.D. Thesis, Informatics Institute of the University of Gazi, Ankara, Turkey, (2008).
- [16] D. Gettman and L. Head, “Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models Final Report“, U.S. Department Of Transportation Federal Highway Administration (FHWA-RD-03-050), Virginia, 11-35 (2003).
- [17] A. Okutanoğlu ve V. İşler, “Simülasyon sistemlerinde esnek senaryo altyapıları“, Birinci Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı, Ankara, 115-126 (2005).
- [18] J. Cremer and Y. Papelis, “The software architecture for scenario control in Iowa driving simulator“, Proc. of 4th Computer Generated Forces and Behavioral Representation Conference, Orlando, 523-532 (1994).
- [19] S. Donikian, “Multilevel Modelling of Virtual Urban Environments for Behavioral Animation.” Computer Animation, s.127, (1997).
- [20] Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Hizmetleri Başkanlığı, “Trafik İstatistik Yıllığı-2002“, EGM, Ankara, 114 (2002).
- [21] Deery, H.A., “Hazard and Risk Perception among Young Novice Drivers“, Journal of Safety Research, 30(4): 225-236 (1999)
- [22] M. Demir ve A. Çavuşoğlu, “A new driver behavior model to create realistic urban traffic environment“, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Volume 15, Issue 3, May 2012, Pages 289-296, ISSN 1369-8478, 10.1016/j.trf.2012.01.004.