

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

AKILLI ULAŞIM ARIŞMASI
PROJE DETAY RAPORU

PROJE ADI: QAT: Q-learning based Adaptive Traffic control

TAKIM ADI: Global Maksimum

TAKIM ID: T3-25325-200

TAKIM SEVİYESİ: Üniversite/Mezun

DANIŞMAN ADI: -

İçindekiler

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

QAT, pekiştirmeli öğrenme algoritmasını kullanan yapay zeka bazlı adaptif trafik kontrol sistemidir. Amacı tek bir kavşak aksine bir şehrin/semtin kavşaklarının ışıklarını akıllı bir şekilde kontrol etmek ve trafik akışını optimize etmektir.

2. Problem/Sorun:

Modern şehirlerin ulaşım açısından ana problemlerinden biri trafik yoğunluğudur. Yoğun trafik zaman kaybının yanı sıra çevre kirliliğine ve ekonomik kayba neden olmaktadır. Sadece İstanbul'da trafik sıklığı nedeniyle yıllık ekonomik kayıp 6 milyar TL'ye ulaşmaktadır^[1]. Dolayısıyla trafik yoğunluğu %10 azalsa bile, yıllık 600 milyon TL tasarruf edilebilir.

Trafik yoğunluğunun sebeplerinden biri sabit süreli sinyalizasyondur. İstanbul'daki ATAK sistemi^[2] gibi bazı adaptif sistemler sabit süreli sinyalizasyona göre daha etkili olsalar da sınırlı sayıda kavşağı kontrol ettikleri için trafik optimizasyon problemini daha global ve daha planlı bir çözüm sunmamaktadırlar. Daha global, geniş çaplı ölçekte bir çözüm için QAT projesi kapsamında derin öğrenme tabanlı trafik kontrol sistemi tasarlanacaktır.

Adaptif sistemlerinin diğer bir zayıf yanı, ışık önü arabaların sayımı için indüksiyon döngü sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu tür sistemler yolun altına yerleştirildiği için yolun kazılmasını gerektirmektedir. Yol kazımından doğan rahatsızlıkların ve israfın azaltılması için QAT'ın ana kontrol sistemiyle uyumlu akıllı kamera sistemi geliştirilecektir.

3. Çözüm

Makroskopik ölçekte (şehir/semte) modern trafik akışı karmaşık, komplike bir sistemdir. Kelebek etkisinden dolayı trafikteki küçük değişiklikler ileride öngörülmesi zor, istenmeyen sonuçlara neden olabilmektedir. Bu nedenle optimal akıllı trafik için insanların yazabileceği kurallar yetersiz kalacaktır. Kural tabanlı bir sistem yerine veri üzerinden öğrenen bir sistem daha çok durumu kapsayacaktır.

Projeye kuşbakışı bakar olur isek, optimal trafik akışını bu şekilde sağlayacaktır:

1. Şehrin trafik akışı ve yolları trafik simülöründe modellenecektir
2. QAT yapay zeka modeli simülördeki trafik ışıklarını kontrol etmeye başlar.
3. Modelin performansına bağlı model ödül veya ceza alır.
4. Modelin parametreleri, ödülü maksimize edecek şekilde değiştirilecektir.

5. 2,3 ve 4. adımlar model istenilen performansa ulaşıncaya kadar tekrar edileceklerdir.
6. Model gerekli performansa ulaştıktan sonra, gerçek trafik ışıklarını kontrol etmeye başlayacaktır.

QAT projesi kapsamında çözülecek başka bir sorun ise indüksiyon döngülerin kullanılmasıdır. Arabaların sayımı için döngülerin yerine derin öğrenme bazlı akıllı kameralar önerilmektedir.

4. Yöntem

Projenin ana gereksinimlerinden biri, güvenilir ve projeye uygun bir trafik simülatörüdür. Trafik simülatör yazılım paketi olarak SUMO trafik simülatörü seçilmiştir^[3]. SUMO simülatörü mikroskopik ölçekte bir simülatör olduğu için her arabayı ve her trafik sinyalini ayrı ve basitleştirmeden simüle etmektedir. Simülatörün bu özelliğinden dolayı projede kullanılacak trafik simülatörü olarak seçilmiştir.

Projenin kontrol algoritması derin öğrenme tabanlı nöral ağ olacağı için yol yapısı ve bilgisi nöron ağının işleyebileceği bir forma dönüştürülmesi gerekmektedir. O amaçla Fig. 2 ve 3'te gösterildiği gibi şehrin yol yapısı yönlü bir grafa dönüştürülecektir. Kavşaklar nokta (node), ve yollar yönlü kenarlar (edge) ile modelleneceklerdir.

Derin nöron ağının geliştirilmesi ve modellenmesi için graflarla çalışabilen Pytorch Geometric kütüphanesi kullanılacaktır. Derin nöron ağları katmanlı yapılar oldukları için ilk katmanda, graftaki her nokta komşularının bilgisini (araba sayısı, ışık bilgisi vs.) kendisinde (ağırlıklı bir şekilde) toplayacaktır. Bu toplama işleminden sonra ortaya yeni bir graf ortaya çıkacaktır. Oluşturulan yeni graf bir sonraki katmandan geçirilecektir. Bahsedilen toplama işlemi ne kadar katman varsa devam edecektir ve en son katmanda trafik ışıklarının olması gereken durumu içeren bilgi olacaktır. Ağı öğretmek için dereceli alçalma (gradient descent) metodu ile toplama ağırlıklarının katsayıları değiştirilerek gerçekleştirilecektir.

Nöron ağını eğitmek için, aynı zaman da projeye adını veren Q-learning algoritması kullanılacaktır. Q-learning çerçevesinde, trafik optimizasyon problemi dört unsurdan oluşacaktır:

- Durum (S, State): Yol yapısını ve trafiğin şu anki durumunu gösteren graf.
- Eylem (A, Action): Şu anki durumda alınan eylem (trafik ışıklarının rengi değiştirilmesi)
- Ödül (R, Reward): Şu anki durumda alınan eylem sonucu objektif fonksiyonunun skoru (trafik durumunun ne kadar iyi olduğu)
- Sonraki durum (S^+ , Next state): Şu anki durumda alınan eylem sonrasındaki durum

Q-learning algoritmasının amacı, Q fonksiyonunu öğrenmektir. Q fonksiyonu argüman olarak mevcut durumu ve o durumda gerçekleştirilecek eylemi alıp o eylemin o durumda ne kadar kaliteli olduğunu gösteren bir fonksiyondur. Dolayısıyla, herhangi bir durum s 'de en kaliteli şekilde davranmak (optimal eylem a^*) için yapılması gereken tek şey Q fonksiyonunu maksimize eden eylem a 'yı seçmektir:

$$a^*(s) = \arg \max_a Q^*(s, a).$$

Q fonksiyonu (QAT projesi çerçevesinde) aşağıda belirtilen döngüsel şekilde öğrenilecektir:

1. Şu anki trafik durumu açıklayan graf simülatörle alınır
2. Q fonksiyonunun belirlediği eylemler alınır (trafik ışıklarının değişimi)
3. Eylemlere göre modele ödül verilir
4. Alınan ödüle göre Q fonksiyonu, ileride daha fazla ödül almak için düzeltilir.

QAT projesi kapsamında kullanılacak ve maksimize edilmeye çalışacak objektif fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$r(t) = -\sum_i (b_i)^2$$

b_i değeri, i 'nci arabanın bekleme süresini temsil ediyor. Bekleme süresinin karesi alındığı için cezalandırma quadratik bir ağırlık kazanacak, örneğin 30 sn bekleyen araba, 5 sn bekleyen arabaya göre öncelikli olacaktır.

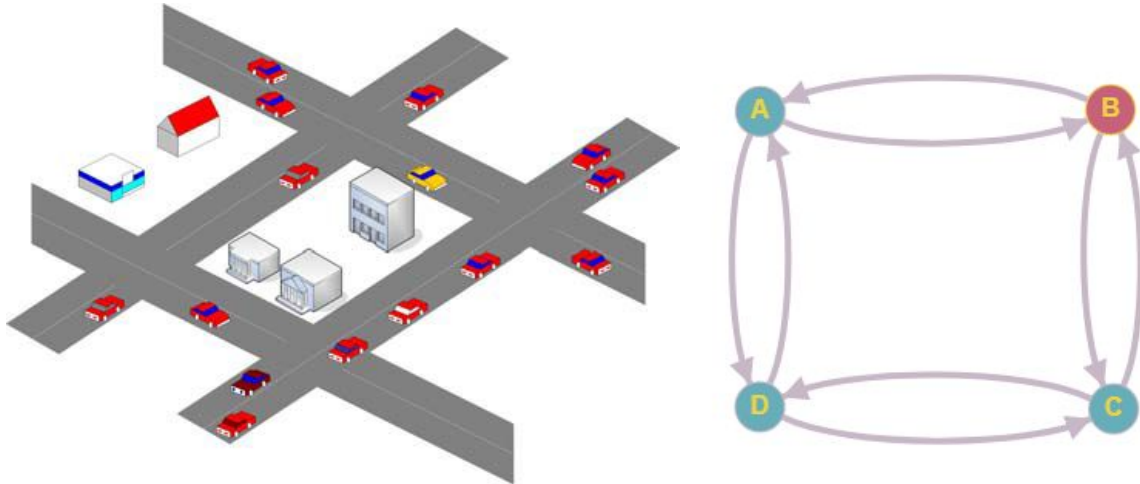


Fig. 2 ve Fig. 3

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Karşılaştırma amaçlı, QAT projesi İstanbul'da bazı kavşaklarda uygulanan ATAK adaptif trafik kontrol sistemi ile karşılaştırılacaktır.

QAT'ın en büyük özelliği piyasadaki diğer çözümlere göre şehrin ışıklarının tamamını koordine etmek amacıyla tasarlanmıştır. Karşılaştırmak gerekirse, ATAK sistemi birkaç kavşağı kontrol etmektedir^[4]. Bunun sebeplerinden biri, optimizasyon amaçlı ATAK sisteminin genetik algoritmaları kullanmasıdır. Birkaç kavşak ölçeğinde genetik algoritmalar gerçek zamanlı optimizasyon yapabilseler de şehir ölçeğinde tıkanmaktadır. QAT projesinde, ATAK sisteminin aksine kullanılan yaklaşım derin öğrenme olduğu için daha kolay ölçeklenebilir, kapsayıcı bir çözüm sunmaktadır.

6. Uygulanabilirlik

QAT projesinin ticari anlamda hayata geçirilebilmesi için yapılacak ilk iş, şehir trafiği hakkında veri toplamak olacaktır. Bu veriler, saatlik/günlük trafik yoğunluğuyla yol yapısından toplanacaklardır.

Toplanan veriler ile simülâtörün parametreleri gerçek hayatı en iyi şekilde yansıtacak şekilde modifiye edildiğinde, QAT nöron ağı simülâtör yardımıyla öğrenim prosedürüne başlayacaktır. Öğrenim süreci tamamlandıktan sonra, akıllı kameraların yardımıyla gerçek trafik ışıklarını kontrol edecektir.

Uygulanabilirlik açısından en büyük risk, simülâtör ve gerçek hayat arasındaki farklar olacaktır. Bu riski minimize etmek adına, veri toplama aşamasının olabildiğince kapsamlı bir şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Yarışma kapsamında QAT projesi sadece simülâtörde çalıştırılacağı için ve gerçek ışıkları kontrol etmeyeceği için tahmini maliyet, QAT projesinin 500 kavşakta devreye alınması için hesaplanacaktır. Yarışma için geliştirilecek prototip, sadece yazılımdan oluşacağı için gerekli bütçe minimaldir.

QAT projesinin hayata geçirilebilmesi için gerek ana unsur, akıllı kameralardan gelen veriyi gerçek zamanlı işleyebilecek bir sunucudur. 10 kavşağın video görüntülerini işlenebilmesi için tahmini maliyeti 2000 USD olan bir grafik kartı gerekmektedir. Dolayısıyla, 500 kavşak için 100,000 USD ya da güncel kurla görüntü işleme için bütçe 680,000 TL olmaktadır. QAT'ın ana kontrol nöron ağının çalıştırılması için bir grafik kartı daha ve gerekli diğer bileşenler (işlemci vs.) ele alındığında sunucunun fiyatı yaklaşık olarak 700,000 TL civarına gelmektedir.

Kavşaklara kurulacak kameraların tahmini maliyetine gelinirse, iletişim için 4G modülü barındıran kameranın maliyeti yaklaşık olarak 3000 TL olmaktadır. Dolayısıyla her kavşakta ortalama 3 kamera olduğunu varsayılırsa, 500 kavşak için kameraların maliyeti 4,500,000 TL'ye denk gelmektedir.

Maliyetlerin karşılaştırılması için ABD'de Pensilvanya eyaletinde 45 kavşağa kurulan InSync adaptif trafik kontrol sistemi ile kavşak başı maliyet karşılaştırılacaktır. InSync sisteminin maliyeti 3 milyon USD ya da kavşak başına 453,310 TL dir^[5]. QAT projesinin tahmini kavşak başı maliyeti ise yaklaşık olarak 10,400 TL ye denk gelmektedir.

Projenin maliyetlerini bir tabloda özetlemek gerekirse bu şekilde özetlenebilir:

Sunucu maliyeti	700,000 TL
Kameralar maliyeti	4,500,000 TL
Bakım maliyeti (yıllık yaklaşık değer)	200,000 TL

Proje prototipinin geliştirilmesi için zaman planlamasına değinilecek olursa, aşağıdaki gibidir:

- **15 Haziran - 1 Temmuz:** Trafik kontrol algoritmasının geliştirilmesi için gerekli yazılımsal altyapının (simülatör vs.) kurulması
- **1 Temmuz - 15 Ağustos:** Trafik kontrol algoritması ve akıllı kamera sisteminin geliştirilmesi
- **15 Ağustos - 22 Eylül:** Geliştirilen algoritmaların performans ve kalite açısından değerlendirilmesi

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Projenin hedef kitle (şehirde yaşayan ve fazla trafikten olumsuz etkilenen şehir sakinleridir. Araba kullananlar QAT'ın sağlayacağı zaman ve yakıt tasarrufundan yararlanırken, yayalar daha verimli çalışan trafik akışından doğan azalan hava kirliliğinden faydalanacaklardır.

9. Riskler

Her projede olduğu gibi, QAT projesinin hayata geçirilirken kendi başına riskleri olacaktır.

Merkezi bir bilişim sistemi olan QAT projesi, ana zayıflığı hacklenmedir. Ana kontrol sunucusunun hacklenmesinin ihtimali az olsa da trafik ışıkları bireysel olarak hacklenebilir. Hacklenme riskini minimuma düşürmek adına trafik ışıkları ve ana sunucu arasındaki şifreli iletişim hacklenme riskini azaltabilir. Onun dışında ana sunucu trafik ışıklarını şüpheli eylemler için gözleyebilir ve sıra dışı eylemler tespit edilince uyarı verilebilir.

QAT'ın performansını etkileyebilecek başka bir unsur ise kötü hava koşullarıdır. QAT projesi kapsamında araba sayımı için kameralar kullanılacağı için yağmur, kar gibi hava koşulları araba sayım algoritmasını etkileyebilir. Hava koşulları görüntü işleme kullanan akıllı kamera sistemlerinin ciddi bir şekilde etkilese de, QAT projesinde geliştirilecek akıllı kamera sistemleri derin öğrenme tabanlı oldukları için kamera lensinin görüş alanı kapanmadığı sürece standart görüntü işleme kullanan kameralara göre hava koşullarından daha az etkilenecektir.

QAT'ın trafik optimizasyonu için kullanacağı nöron ağı etkili olsa da kara bir kutudur. Trafiği en iyi şekilde etkileyecek kararlar alsa da, bu kararlara nasıl erişildiğini bilinmemektedir. Dolayısıyla, QAT nöron ağının çıktısı bir filtreden geçirilecektir. Eğer verdiği kararlar trafik kurallarına aykırı ve tehlikeli durumlara yol açabiliyorsa düzeltilecektir.

Olasılık	Etki			
	1	2	3	4
1	-	-	-	Yanlış çıktı
2	-	Hava koşulları	Hacking	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-

10. Proje Ekibi

Takım Lideri: Dorukhan Afacan

Adı Soyadı	Projedeki Görevi	Okul
Dorukhan Afacan	Algoritmaların geliştirilmesi	Sabancı Üni. (Mezun)
Askar Bozcan	Algoritmaların geliştirilmesi	ODTÜ (2. sene)
Hilal Güven	Yazılımsal altyapı	Boğaziçi Üni. (Mezun)

11. Kaynaklar

[1] Hürriyet Gazetesi

<https://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/trafigin-istanbul-a-faturasi-5-milyar-tl-21801284>

[2] İSBAK Atak sistemi

<https://www.isbak.istanbul/intelligent-transportation-systems/full-adaptive-traffic-management-system>

[3] SUMO trafik simülatörü

<http://sumo.sourceforge.net/>

[4] Gündoğan et al. (2014) An Evaluation of Adaptive Traffic Control System in Istanbul, Turkey

https://www.researchgate.net/publication/266558068_An_Evaluation_of_Adaptive_Traffic_Control_System_in_Istanbul_Turkey

[5] The capital cost to implement adaptive signal control at 45 intersections was estimated at \$3 million.

<https://www.itscosts.its.dot.gov/ITS/benecost.nsf/SummID/SC2015-00340?OpenDocument&Query=Home>