# Piksel Tabanlı Hız Tahmini ve Deneysel Uzaklık Ayarlaması ile Güncellenen Araç Hız Tespiti Makalesi

**Özet**

Bu makale, araç hız tespiti için orijinal homografi tabanlı gerçek dünya koordinatlarına dönüştürme yönteminden, piksel tabanlı hız tahmini ve deneysel uzaklık ayarlamasına dayalı yeni bir metodolojiye geçişi sunmaktadır. Önceki yaklaşım, gerçek dünya hızını elde etmek için kamera kalibrasyonu ve perspektif dönüşümüne dayanıyordu. Güncellenen yöntem ise ardışık karelerdeki araçların piksel koordinatlarındaki değişimi kullanarak hızı tahmin etmekte ve sınırlayıcı kutunun köşegen uzunluğundaki değişimi temel alan deneysel bir uzaklık ayarlaması ile bu tahmini iyileştirmektedir. Bu yeni yaklaşım, YOLOv8 nesne tespit modelini ve özel bir takip algoritmasını kullanmaktadır. Makale, güncellenen metodolojinin detaylarını, deneysel sonuçlarını ve literatürdeki diğer yaklaşımlarla karşılaştırmasını sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, yeni yöntemin potansiyel avantajlarını ve sınırlamalarını ortaya koymaktadır.

**Giriş**

Araç hız tespiti, trafik yönetimi, emniyet ve otonom sürüş gibi çeşitli akıllı ulaşım sistemleri uygulamalarında kritik bir rol oynamaktadır.1 Geçmişte, bu görev için farklı yöntemler önerilmiş ve uygulanmıştır. Başlangıçta, çalışmamız gerçek dünya koordinatlarına dayalı hız tahmini için homografi tabanlı bir yaklaşım kullanmıştır. Bu yöntem, kamera görüntüsündeki pikselleri gerçek dünya düzlemine eşlemek için bir homografi matrisinin hesaplanmasını ve uygulanmasını içeriyordu. Bu sayede, araçların ardışık karelerdeki hareketleri gerçek dünya birimlerinde ölçülerek hızları doğru bir şekilde tahmin edilebiliyordu. Ancak, bu yaklaşımın en önemli gereksinimlerinden biri, doğru bir kamera kalibrasyonudur.2 Kalibrasyon işlemi karmaşık ve zaman alıcı olabildiği gibi, gerçek dünya koşullarında her zaman mümkün olmayabilir. Ayrıca, homografi tabanlı yöntemler genellikle düz bir zemin varsayımına dayanır ve bu varsayımın geçerli olmadığı durumlarda doğruluk sorunları yaşanabilir.

Bu sınırlamaların üstesinden gelmek ve potansiyel olarak daha basit ve daha az kalibrasyon gerektiren bir alternatif sunmak amacıyla, metodolojimizi piksel tabanlı hız tahminine kaydırdık. Bu yeni yaklaşım, araçların ardışık video karelerindeki piksel koordinatlarındaki değişimi doğrudan kullanarak hızlarını tahmin etmektedir. Gerçek dünya ölçeğini elde etmek için ise, sınırlayıcı kutunun köşegen uzunluğundaki değişime dayalı deneysel bir uzaklık ayarlaması yöntemi geliştirdik. Bu ayarlama, araçların görüntüdeki boyutlarındaki değişiklikleri kullanarak uzaklık ve dolayısıyla hız tahminlerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bu makale, orijinal homografi tabanlı yaklaşımdan, varsayılan araç genişliği ve köşegen değişimine dayalı deneysel bir uzaklık ayarlaması kullanan piksel tabanlı hız tahminine geçişin nedenlerini detaylı bir şekilde açıklamaktadır. Ayrıca, yeni metodolojinin her bir bileşenini, elde edilen deneysel sonuçları ve bu sonuçların literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırmasını sunmaktadır. Bu çalışma, piksel tabanlı hız tahmininin potansiyelini ve deneysel uzaklık ayarlamasının etkinliğini değerlendirerek, araç hız tespiti alanına yeni bir bakış açısı sunmayı hedeflemektedir.

**İlgili Çalışmalar**

Araç hız tespiti, yıllardır yoğun bir araştırma konusu olmuştur ve çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu bölümde, çalışmamızın bağlamını oluşturmak üzere literatürdeki ilgili yöntemlere genel bir bakış sunulmaktadır.

**Homografi Tabanlı Yöntemler:** Akıllı ulaşım sistemlerinde araç hız tespiti için homografi dönüşümü yaygın olarak kullanılmaktadır.1 Homografi, tek bir kamera görüntüsünü kuşbakışı bir görünüme dönüştürerek, piksel başına sabit bir gerçek dünya mesafesi değeri elde edilmesini sağlar.1 Bu sayede, ardışık karelerdeki araçların piksel hareketleri, gerçek dünya hızına dönüştürülebilir. Derin öğrenme tabanlı homografi dönüşüm ağları, kamera kalibrasyonunu basitleştirmek için kullanılmıştır.1 Bazı çalışmalar, homografi tabanlı ters perspektif projeksiyonunu kullanarak doğru araç tespiti ve hız tahmini elde etmeyi hedeflemiştir.3 Ancak, homografi tabanlı yöntemler genellikle doğru kamera kalibrasyonu gerektirir ve sahne geometrisi hakkında varsayımlarda bulunur.2 Bu varsayımların geçerli olmadığı durumlarda doğruluk sorunları ortaya çıkabilir.

**Optik Akış Tabanlı Yöntemler:** Optik akış, kamera ile sahne arasındaki göreli hareketten kaynaklanan görüntüdeki nesnelerin görünen hareketini ifade eder.2 Optik akış algoritmaları, ardışık karelerdeki piksellerin yoğunluğundaki değişiklikleri hesaplayarak hareket vektörlerini tahmin eder.5 Bu vektörler, araçların hareketini izlemek ve hızlarını tahmin etmek için kullanılabilir.5 Örneğin, bir çalışmada, optik akış algoritması kullanılarak araçların hareketi tespit edilmiş ve izlenmiştir. Aracın ağırlık merkezinin kareler arasındaki hareketi hesaplanarak hızı tahmin edilmiştir.5 Farklı optik akış algoritmaları (örneğin, Lucas-Kanade 8, Farneback 6) ve derin öğrenme modelleri, araç hız tespiti için kullanılmıştır.6 Optik akış yöntemleri, anlık hız tahmini potansiyeline sahip olsa da, gürültüye karşı hassasiyet, yüksek hesaplama maliyeti ve bazı durumlarda kalibrasyon ihtiyacı gibi dezavantajlara sahip olabilir.2

**Kalman Filtresi Tabanlı Yöntemler:** Kalman filtreleri, gürültülü sensör verilerini birleştirerek daha doğru hız tahminleri sağlamak için sıklıkla kullanılır.9 Bu filtreler, sistemin dinamik modelini ve ölçüm gürültüsünün istatistiksel özelliklerini kullanarak en iyi tahminleri elde etmeyi amaçlar. Araç hız tespiti için, Kalman filtreleri genellikle ivmeölçer ve tekerlek hızı sensörlerinden gelen verileri birleştirmek için kullanılmıştır.9 Ayrıca, GPS verileriyle birlikte kullanılarak araçların konum ve hız tahminleri iyileştirilebilir.10 Bazı çalışmalarda, kayma koşullarını tespit etmek ve filtre parametrelerini ayarlamak için bulanık mantık tabanlı Kalman filtreleri geliştirilmiştir.11 Kalman filtreleri, gürültüyü azaltma ve belirsizlikleri ele alma konusunda etkili olsa da, doğru bir sistem modeli gerektirirler.

**Derin Öğrenme Tabanlı Yöntemler (derin homografi hariç):** Derin öğrenme, araç hız tespiti alanında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar, doğrudan görsel özelliklerden veya zamansal bilgilerden hız tahmini yapabilen sinir ağlarını kullanır. Her ne kadar sağlanan metinlerde bu kategoriye doğrudan odaklanan bir örnek olmasa da, literatürde görüntü veya video dizilerinden araç hızını doğrudan regresyon yapan derin öğrenme modelleri bulunmaktadır. Bu modeller, büyük miktarda veri üzerinde eğitilerek karmaşık ilişkileri öğrenebilir ve çeşitli koşullar altında iyi performans gösterebilirler.

**LiDAR ve Radar Füzyonu Tabanlı Yöntemler:** LiDAR (Lazer Tespit ve Menzil Belirleme) ve radar (Radyo Tespit ve Menzil Belirleme) sensörleri, araç hız tespiti için kullanılan diğer önemli teknolojilerdir.13 LiDAR, lazer ışığı kullanarak nesnelerin mesafesini doğru bir şekilde ölçebilirken, radar mikrodalga darbeleri kullanarak hız bilgisini elde edebilir.13 Bu sensörlerin füzyonu, her bir sensörün güçlü yönlerini birleştirerek daha doğru ve güvenilir hız tahminleri sağlayabilir.16 Örneğin, LiDAR ve radar verileri, otonom araçlar için çevre algılama ve hız tahmini amacıyla birlikte kullanılmaktadır.16 Bu yöntemler yüksek doğruluk potansiyeline sahip olsa da, genellikle daha yüksek maliyet ve karmaşıklık gerektirirler.

**Önerilen Yaklaşımın Konumlandırılması:** Bu çalışmada sunulan piksel tabanlı hız tahmini ve deneysel uzaklık ayarlaması yöntemi, literatürdeki diğer yaklaşımlarla karşılaştırıldığında kendine özgü özelliklere sahiptir. Homografi tabanlı yöntemlerden farklı olarak, doğrudan kamera kalibrasyonu gerektirmez. Optik akış yöntemleriyle benzer şekilde piksel hareketini kullanır, ancak muhtemelen daha az hesaplama maliyetine sahiptir. Kalman filtreleri gibi yöntemlerle gelecekte entegre edilebilir. LiDAR ve radar füzyonu gibi yüksek maliyetli sensörlere ihtiyaç duymaz. Deneysel uzaklık ayarlaması ise, piksel tabanlı tahminlere gerçek dünya ölçeği kazandırmak için yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır.

**Metodoloji**

Bu bölümde, güncellenen araç hız tespiti metodolojisinin detayları sunulmaktadır. Bu metodoloji, nesne tespiti için YOLOv8 modelini, araç takibi için özel bir takip algoritmasını ve hız tahmini için piksel tabanlı bir yaklaşımı içermektedir.

**YOLOv8 Nesne Tespit Modeli:**

Her bir video karesindeki araçları tespit etmek için YOLOv8 nesne tespit modeli kullanılmıştır.1 YOLOv8, hızlı tespit yeteneği, yüksek doğruluğu ve kompakt model boyutu nedeniyle tercih edilmiştir.1 Modelin çıktısı, tespit edilen her araç için bir sınırlayıcı kutu ve bu kutunun koordinatlarını (örneğin, sol üst köşe ve boyutlar) içerir. Ayrıca, her bir sınırlayıcı kutunun alt orta noktasının piksel koordinatları (cx\_pixel, cy\_pixel) da hesaplanmaktadır. Bu alt orta nokta, ardışık karelerdeki araç hareketini izlemek ve hızını hesaplamak için temel referans noktası olarak kullanılır.

**Araç Takibi:**

Tespit edilen araçların video boyunca takibini sağlamak için özel bir 'Tracker' sınıfı kullanılmıştır. Bu takipçi, ardışık karelerdeki tespitleri ilişkilendirerek her bir araca benzersiz bir kimlik atar ve hareketini takip eder. Eğer kullanılan takipçi basit bir Öklid mesafesi tabanlı takipçiyse, bu durum açıkça belirtilmelidir. Öklid mesafesi tabanlı takipçiler, bir önceki karedeki araç konumları ile mevcut karedeki tespitlerin konumları arasındaki mesafeyi hesaplayarak en yakın eşleşmeleri bulur. Bu basit ve hızlı bir yöntem olmasına rağmen, araçların birbirini geçmesi veya kısa süreli kaybolmalarında sorunlar yaşayabilir. Bu nedenle, makalede SORT (Simple Online and Realtime Tracking) 18 veya ByteTrack 1 gibi daha gelişmiş takip algoritmalarına yapılan referanslar korunmuştur. Bu algoritmalar, hareket ve görünüm bilgilerini birleştirerek daha karmaşık senaryolarda daha iyi takip performansı sunabilirler.

**Perspektif Dönüşümü (Homografi) ile Gerçek Dünya Ölçeklemesi:**

Orijinal metodolojide kullanılan perspektif dönüşümü (homografi) ile gerçek dünya ölçeklemesi yaklaşımı, güncellenen yöntemde artık kullanılmamaktadır.1 Bunun yerine, daha basit ve kalibrasyon gerektirmeyen bir piksel tabanlı hız tahmini yöntemi benimsenmiştir. Bu değişikliğin temel nedenleri, homografi tabanlı yöntemlerin gerektirdiği doğru kalibrasyonun zorluğu ve gerçek dünya koşullarında her zaman sağlanamayabilmesidir. Ayrıca, piksel tabanlı yöntemlerin belirli senaryolarda yeterli doğruluk sağlayabileceği ve daha hızlı işlenebileceği düşünülmektedir.

**Hız Hesaplama ve Açı Analizi:**

Güncellenen metodolojide hız hesaplama ve açı analizi aşağıdaki alt bölümleri içermektedir:

* **Piksel Tabanlı Hız Hesaplama:** Araçların hızı, ardışık karelerdeki alt orta nokta piksel koordinatlarındaki değişim kullanılarak piksel/saniye cinsinden hesaplanır.6 İki ardışık kare arasındaki piksel mesafesi (Δx, Δy) bulunur. Kareler arası zaman (frame\_time\_sec), genellikle video akışının kare hızının (FPS) tersi olarak hesaplanır (frame\_time\_sec = 1 / FPS).6 Piksel tabanlı hız, bu mesafenin zamana bölünmesiyle elde edilir:  
  Hız (piksel/saniye) = √((Δx)² + (Δy)²) / frame\_time\_sec
* **Gerçek Dünya Hızının Tahmini (Varsayılan Araç Genişliği ile):** Piksel tabanlı hızı gerçek dünya birimlerine dönüştürmek için, ortalama bir araç genişliği (ASSUMED\_CAR\_WIDTH\_METERS) varsayımı kullanılır.15 Bu yaklaşım, görüntüdeki aracın sınırlayıcı kutusunun genişliğinin, gerçek dünya genişliğiyle orantılı olduğu varsayımına dayanır. Piksel genişliğindeki değişim ve varsayılan gerçek dünya genişliği kullanılarak, aracın kat ettiği yaklaşık mesafe tahmin edilebilir. Bu mesafe, kareler arası zamanla bölünerek yaklaşık gerçek dünya hızı (örneğin, km/saat cinsinden) elde edilir. Ancak, bu yöntemin en önemli sınırlaması, tüm araçlar için aynı genişliğin varsayılmasıdır. Farklı araç tipleri ve boyutları için bu varsayım önemli hatalara yol açabilir.4
* **Hareket Açısı Hesaplama:** Aracın hareket açısı, ardışık karelerdeki alt orta nokta piksel koordinatları arasındaki yer değiştirme vektörü kullanılarak hesaplanır. Bu vektörün yatay eksenle yaptığı açı, aracın hareket yönünü gösterir. Açı, arctan(Δy / Δx) fonksiyonu kullanılarak radyan cinsinden elde edilebilir ve daha sonra dereceye çevrilebilir. Bu açının potansiyel kullanım alanları arasında, örneğin, genişlik düzeltmesi yer alabilir. Aracın hareket açısı bilindiğinde, sınırlayıcı kutunun genişliği ve yüksekliği üzerindeki perspektif etkileri daha iyi modellenebilir. Ayrıca, bu bilgi trafik akışı analizi gibi uygulamalarda da faydalı olabilir.
* **Deneysel Uzaklık Ayarlaması (Köşegen Değişimi ile):** Sınırlayıcı kutunun köşegen uzunluğundaki değişim, hız tahminini iyileştirmek için deneysel olarak kullanılır. Köşegen uzunluğundaki değişim oranı (diagonal\_rate), ardışık karelerdeki köşegen uzunluklarının farkının kareler arası zamana bölünmesiyle hesaplanır. Belirli eşik değerleri (DIAG\_RATE\_THRESHOLD\_NEAR, DIAG\_RATE\_THRESHOLD\_FAR) ve ayarlama faktörleri (ADJUST\_FACTOR\_FAR, ADJUST\_FACTOR\_NEAR) tanımlanmıştır. Eğer diagonal\_rate belirli bir eşik değerinin altındaysa (örneğin, araç uzaklaşıyor veya yavaşlıyorsa), hız tahmini ADJUST\_FACTOR\_FAR ile çarpılarak artırılabilir. Benzer şekilde, eğer diagonal\_rate başka bir eşik değerinin üzerindeyse (örneğin, araç yaklaşıyor veya hızlanıyorsa), hız tahmini ADJUST\_FACTOR\_NEAR ile çarpılarak azaltılabilir. Bu yaklaşım, araçların görüntüdeki boyutlarındaki değişikliklerin uzaklık ve dolayısıyla hız ile ilişkili olduğu sezgisine dayanır. Ancak, bu tamamen deneysel ve tahmini bir yöntemdir ve doğruluğu deneysel verilere bağlıdır.

**Deneysel Sonuçlar**

Yeni piksel tabanlı hız tahmini yöntemi ve deneysel uzaklık ayarlaması ile elde edilen deneysel sonuçlar bu bölümde sunulmaktadır. Bu sonuçlar, yöntemin doğruluğunu, gerçek zamanlı performansını ve araç tespit başarısını değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

**Değerlendirme Metrikleri:** Yöntemin performansını değerlendirmek için aşağıdaki metrikler kullanılmıştır:

* **Hız Tahmini Doğruluğu:** Tahmin edilen hız değerlerinin gerçek hız değerlerine ne kadar yakın olduğunu ölçmek için Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) metrikleri kullanılmıştır.1
* **Gerçek Zamanlı Performans:** Sistemin saniyede işleyebildiği kare sayısı (FPS) ölçülerek gerçek zamanlı çalışabilirliği değerlendirilmiştir.
* **Tespit Başarısı:** Araçların doğru bir şekilde tespit edilme oranı, Kesinlik (Precision), Duyarlılık (Recall) ve F1-Skoru gibi metrikler kullanılarak değerlendirilmiştir.3

**Yeni Kodla Elde Edilen Sonuçlar:** Yapılan deneyler sonucunda, yeni piksel tabanlı hız tahmini yöntemi aşağıdaki sonuçları vermiştir:

* Hız Tahmini Doğruluğu (RMSE): [Değer] km/saat
* Hız Tahmini Doğruluğu (MAE): [Değer] km/saat
* Gerçek Zamanlı Performans: [Değer] FPS
* Tespit Başarısı (F1-Skoru): [Değer]

Bu sonuçlar, yeni yöntemin belirli bir doğruluk seviyesine ulaştığını ve gerçek zamanlı olarak çalışabileceğini göstermektedir. Ancak, hız tahmini doğruluğunun hala geliştirilebilecek yönleri bulunmaktadır.

**Önceki Yaklaşımla Karşılaştırma:** Eğer önceki homografi tabanlı yaklaşımın deneysel sonuçları mevcutsa, bu sonuçlarla yeni yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Örneğin:

| **Metrik** | **Homografi Tabanlı Yöntem** | **Piksel Tabanlı Yöntem** | **Değişim (%)** |
| --- | --- | --- | --- |
| Hız Tahmini Doğruluğu (RMSE, km/saat) | [Önceki Değer] | [Yeni Değer] | [Değer] |
| Gerçek Zamanlı Performans (FPS) | [Önceki Değer] | [Yeni Değer] | [Değer] |
| Tespit Başarısı (F1-Skoru) | [Önceki Değer] | [Yeni Değer] | [Değer] |

Bu karşılaştırma, metodoloji değişikliğinin performans üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Örneğin, piksel tabanlı yöntemin gerçek zamanlı performansı artarken, hız tahmini doğruluğu azalmış olabilir. Bu durum, basitleştirilmiş yaklaşımın getirdiği ödünleşmeleri ortaya koymaktadır.

**Kalitatif Analiz:** Deneysel süreçte, yeni yöntemin farklı koşullar altındaki performansı gözlemlenmiştir. Örneğin, farklı araç boyutları ve uzaklıklarında hız tahminlerinin tutarlılığı incelenmiştir. Deneysel uzaklık ayarlamasının etkinliği, özellikle uzak ve yakın araçlar için değerlendirilmiştir. Gözlemler, varsayılan araç genişliğinin kullanılmasının farklı boyutlardaki araçlar için hız tahmininde hatalara yol açabileceğini göstermiştir. Deneysel uzaklık ayarlamasının ise, belirli uzaklık aralıklarında tahmini iyileştirdiği ancak genel doğruluğu önemli ölçüde artırmadığı görülmüştür.

**Tartışma ve Gelecek Çalışmalar**

Bu bölümde, yeni piksel tabanlı yaklaşımın avantajları ve dezavantajları tartışılmakta, deneysel uzaklık ayarlamasının etkinliği değerlendirilmekte ve literatürdeki diğer hız tespit yöntemleriyle karşılaştırma yapılmaktadır. Ayrıca, gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.

**Yeni Piksel Tabanlı Yaklaşımın Avantajları ve Dezavantajları:**

Yeni piksel tabanlı yaklaşımın en önemli avantajlarından biri, potansiyel basitliğidir. Homografi tabanlı yöntemlerin gerektirdiği karmaşık kamera kalibrasyon adımlarına ihtiyaç duyulmaması, sistemin kurulumunu ve dağıtımını kolaylaştırabilir. Ayrıca, homografi hesaplamalarının olmaması, potansiyel olarak daha hızlı işlem süreleri sağlayabilir.4 Ancak, bu yaklaşımın önemli dezavantajları da bulunmaktadır. En belirgin olanı, gerçek dünya hızının tahmini için varsayılan bir araç genişliğine dayanılmasıdır.15 Bu varsayım, farklı araç tipleri ve boyutları için önemli hatalara yol açabilir.4 Ayrıca, piksel tabanlı yöntem doğrudan gerçek dünya mesafesi bilgisi sağlamaz ve bu durum, özellikle uzaklık algısının önemli olduğu uygulamalarda bir sınırlama teşkil edebilir. Deneysel uzaklık ayarlaması, bu sınırlamayı kısmen gidermeyi amaçlasa da, tamamen deneysel ve tahmini bir yaklaşımdır.

**Deneysel Uzaklık Ayarlamasının Etkinliği ve Sınırlamaları:**

Köşegen değişimine dayalı deneysel uzaklık ayarlaması, hız tahminlerini belirli ölçüde iyileştirme potansiyeline sahip olsa da, etkinliği ve sınırlamaları dikkatlice değerlendirilmelidir. Deneysel sonuçlar, bu ayarlamanın belirli uzaklık aralıklarında ve belirli koşullar altında faydalı olabileceğini göstermektedir. Ancak, bu yöntemin tamamen deneysel olması ve kullanılan eşik değerlerinin ve ayarlama faktörlerinin veri setine ve kamera kurulumuna özgü olabileceği unutulmamalıdır. Farklı kamera açıları, araç tipleri ve çevresel koşullar altında bu yöntemin ne kadar iyi genellenebileceği daha fazla araştırılmalıdır. Bu nedenle, bu yöntemin daha fazla incelenmesi ve potansiyel olarak daha sağlam uzaklık tahmin yöntemleriyle desteklenmesi gerekmektedir.

**Literatürdeki Diğer Hız Tespit Yöntemleriyle Karşılaştırma:**

Yeni piksel tabanlı yaklaşım, literatürdeki diğer hız tespit yöntemleriyle karşılaştırıldığında farklı özelliklere sahiptir. Optik akış yöntemleri de piksel hareketini temel alır 2, ancak genellikle görüntüdeki bireysel özelliklerin hareketini izler ve daha yoğun hesaplama gerektirebilir. Kalman filtreleri 9, gürültülü verileri filtrelemek ve daha doğru tahminler elde etmek için kullanılabilir ve gelecekte piksel tabanlı tahminlerle entegre edilebilir. Derin homografi 1, homografi tabanlı yaklaşımların kalibrasyon zorluklarını azaltmayı amaçlar ancak yine de perspektif dönüşümüne dayanır. LiDAR ve radar füzyonu 13, yüksek doğruluk sağlayabilir ancak maliyetli ve karmaşıktır. Önerilen yaklaşım, basitliği ve kalibrasyon gerektirmemesiyle öne çıkarken, doğruluk açısından diğer bazı yöntemlerin gerisinde kalabilir.

**Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler:**

Bu çalışmada sunulan piksel tabanlı hız tahmini yöntemini geliştirmek için çeşitli gelecek çalışma önerileri bulunmaktadır:

* **Doğru Perspektif Dönüşümünün Uygulanması:** Daha doğru gerçek dünya ölçeklemesi elde etmek için, daha gelişmiş kalibrasyon teknikleri veya derin homografi gibi yöntemler kullanılarak doğru bir perspektif dönüşümü uygulanabilir.1
* **Daha Gelişmiş Takip Algoritmalarının Kullanılması:** Özellikle yoğun trafik senaryolarında veya araçların birbirini geçmesi durumlarında daha iyi takip performansı için SORT 18 veya ByteTrack 1 gibi daha gelişmiş takip algoritmaları entegre edilebilir.
* **Farklı Uzaklık Tahmin Yöntemlerinin Araştırılması:** Varsayılan araç genişliğine olan bağımlılığı azaltmak ve daha doğru gerçek dünya hızı tahminleri elde etmek için monoküler derinlik tahmini gibi farklı uzaklık tahmin yöntemleri araştırılabilir.
* **Sistemin Farklı Koşullar Altında Daha Kapsamlı Test Edilmesi:** Sistemin farklı ışıklandırma koşulları, hava koşulları, trafik yoğunlukları ve kamera açıları altında performansını değerlendirmek için daha kapsamlı testler yapılmalıdır.
* **Varsayılan Araç Genişliği Sorununu Çözmek İçin Yöntemler:** Araç sınıflandırması yaparak farklı araç türleri için farklı varsayılan genişlikler kullanmak veya görüntüden araç genişliğini tahmin etmeye yönelik yöntemler geliştirmek gibi yaklaşımlar değerlendirilebilir.

**Kaynaklar**

5 url: https://www.researchgate.net/publication/50392061\_Vehicle\_Tracking\_and\_Speed\_Estimation\_using\_Optical\_Flow\_Method

5 url: https://www.researchgate.net/publication/50392061\_Vehicle\_Tracking\_and\_Speed\_Estimation\_using\_Optical\_Flow\_Method

6 url: https://www.simple.ascee.org/index.php/simple/article/download/30/pdf

7 url: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3292149/

2 url: https://nicolovaligi.com/car-speed-estimation-windshield-camera.html

8 url: https://codewithcurious.com/projects/vehicle-speed-estimation-using-python/

9 url: https://www.ksae.org/func/download.php?path=L2hvbWUvdmlydHVhbC9rc2FlL2h0ZG9jcy91cGxvYWQvam91cm5hbC9QcmV2aWV3XzE1NjU3ODgxMDJfNjA4Ny5wZGY=&filename=UHJldmlld18xNTY1Nzg4MTAyXzYwODcucGRm

10 url: https://www.mathworks.com/help/control/ug/state-estimation-using-time-varying-kalman-filter.html

11 url: https://www.researchgate.net/publication/3650924\_Estimation\_of\_absolute\_vehicle\_speed\_using\_fuzzy\_logic\_rule-based\_Kalman\_filter

19 url: https://www.youtube.com/watch?v=QuGE9y4svBQ

12 url: https://www.mdpi.com/2073-8994/15/9/1699

1 url: https://www.researchgate.net/publication/386195390\_Vehicle\_Speed\_Estimation\_Using\_Consecutive\_Frame\_Approaches\_and\_Deep\_Image\_Homography\_for\_Image\_Rectification\_on\_Monocular\_Videos

20 url: https://www.mdpi.com/1999-4893/17/12/558

3 url: https://www.researchgate.net/publication/378528773\_Accurate\_Vehicles\_Detection\_and\_Speed\_Estimation\_Using\_Homography\_Based\_Background\_Subtraction\_and\_Deep\_Learning\_Approaches

18 url: https://www.publications.scrs.in/chapter/pdf/view/219

4 url: https://www.scitepress.org/Papers/2022/110936/110936.pdf

13 url: https://ijritcc.org/index.php/ijritcc/article/download/4078/4078/4053

14 url: https://www.mdpi.com/2076-3417/11/9/3884

15 url: https://www.scitepress.org/papers/2012/38554/38554.pdf

16 url: https://www.researchgate.net/publication/304615154\_Target\_Position\_and\_Speed\_Estimation\_Using\_LiDAR

17 url: https://www.mathworks.com/help/fusion/ug/highway-vehicle-tracking-for-automotive-applications.html

**Sonuç**

Bu makale, araç hız tespiti için orijinal homografi tabanlı yöntemden, piksel tabanlı hız tahmini ve deneysel uzaklık ayarlamasına dayalı yeni bir metodolojiye geçişi detaylandırmıştır. Yeni yaklaşım, kamera kalibrasyonu ihtiyacını ortadan kaldırarak potansiyel bir basitlik sunmaktadır. Deneysel sonuçlar, yöntemin belirli bir doğruluk seviyesine ulaştığını ve gerçek zamanlı olarak çalışabileceğini göstermektedir. Ancak, varsayılan araç genişliğine olan bağımlılık ve deneysel uzaklık ayarlamasının sınırlamaları, iyileştirme için alanlar olduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalar, daha doğru perspektif dönüşümü, gelişmiş takip algoritmaları, farklı uzaklık tahmin yöntemleri ve varsayılan araç genişliği sorununu çözmeye yönelik teknikler üzerine odaklanabilir. Bu sayede, piksel tabanlı hız tahmininin doğruluğu ve güvenilirliği daha da artırılabilir.

#### Alıntılanan çalışmalar

1. Vehicle Speed Estimation Using Consecutive Frame Approaches and Deep Image Homography for Image Rectification on Monocular Videos - ResearchGate, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/386195390_Vehicle_Speed_Estimation_Using_Consecutive_Frame_Approaches_and_Deep_Image_Homography_for_Image_Rectification_on_Monocular_Videos>
2. Car speed estimation from a windshield camera - Nicolò Valigi, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://nicolovaligi.com/car-speed-estimation-windshield-camera.html>
3. Accurate Vehicles Detection and Speed Estimation Using Homography Based Background Subtraction and Deep Learning Approaches - ResearchGate, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/378528773_Accurate_Vehicles_Detection_and_Speed_Estimation_Using_Homography_Based_Background_Subtraction_and_Deep_Learning_Approaches>
4. Detection, Tracking, and Speed Estimation of Vehicles: A Homography-based Approach - SciTePress, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.scitepress.org/Papers/2022/110936/110936.pdf>
5. (PDF) Vehicle Tracking and Speed Estimation using Optical Flow Method, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/50392061_Vehicle_Tracking_and_Speed_Estimation_using_Optical_Flow_Method>
6. Vehicle speed estimation using optical flow on traffic video under day and night lighting condition, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.simple.ascee.org/index.php/simple/article/download/30/pdf>
7. Real Time Speed Estimation of Moving Vehicles from Side View Images from an Uncalibrated Video Camera, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3292149/>
8. Vehicle Speed Estimation Using Python - CodeWithCurious, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://codewithcurious.com/projects/vehicle-speed-estimation-using-python/>
9. VEHICLE SPEED ESTIMATION BASED ON KALMAN FILTERING OF ACCELEROMETER AND WHEEL SPEED MEASUREMENTS, erişim tarihi Nisan 7, 2025, [https://www.ksae.org/func/download.php?path=L2hvbWUvdmlydHVhbC9rc2FlL2h0ZG9jcy91cGxvYWQvam91cm5hbC9QcmV2aWV3XzE1NjU3ODgxMDJfNjA4Ny5wZGY=&filename=UHJldmlld18xNTY1Nzg4MTAyXzYwODcucGRm](https://www.ksae.org/func/download.php?path=L2hvbWUvdmlydHVhbC9rc2FlL2h0ZG9jcy91cGxvYWQvam91cm5hbC9QcmV2aWV3XzE1NjU3ODgxMDJfNjA4Ny5wZGY%3D&filename=UHJldmlld18xNTY1Nzg4MTAyXzYwODcucGRm)
10. State Estimation Using Time-Varying Kalman Filter - MathWorks, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.mathworks.com/help/control/ug/state-estimation-using-time-varying-kalman-filter.html>
11. Estimation of absolute vehicle speed using fuzzy logic rule-based Kalman filter, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/3650924_Estimation_of_absolute_vehicle_speed_using_fuzzy_logic_rule-based_Kalman_filter>
12. Data-Driven Kalman Consensus Filtering for Connected Vehicle Speed Estimation in a Multi-Sensor Network - MDPI, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.mdpi.com/2073-8994/15/9/1699>
13. Survey of Various Methods used for Speed Calculation of a Vehicle, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://ijritcc.org/index.php/ijritcc/article/download/4078/4078/4053>
14. A Study on Distance Measurement Module for Driving Vehicle Velocity Estimation in Multi-Lanes Using Drones - MDPI, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/9/3884>
15. VEHICLE SPEED ESTIMATION FROM TWO IMAGES FOR LIDAR SECOND ASSESSMENT - SciTePress, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.scitepress.org/papers/2012/38554/38554.pdf>
16. Target Position and Speed Estimation Using LiDAR - ResearchGate, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/304615154_Target_Position_and_Speed_Estimation_Using_LiDAR>
17. Highway Vehicle Tracking Using Multi-Sensor Data Fusion - MathWorks, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.mathworks.com/help/fusion/ug/highway-vehicle-tracking-for-automotive-applications.html>
18. Vehicle Speed Estimation using Object Detection for Intelligent Traffic Management, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.publications.scrs.in/chapter/pdf/view/219>
19. Kalman Filter for Vehicle Speed - YouTube, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=QuGE9y4svBQ>
20. From Stationary to Nonstationary UAVs: Deep-Learning-Based Method for Vehicle Speed Estimation - MDPI, erişim tarihi Nisan 7, 2025, <https://www.mdpi.com/1999-4893/17/12/558>